



TUGAS AKHIR - TM141585

PENGARUH WAKTU *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PISAU DAPUR BERBAHAN BAJA BEKAS PEGAS-DAUN

RIDHA WILDANIA
NRP 2114 105 049

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TUGAS AKHIR - TM141585

PENGARUH WAKTU *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PISAU DAPUR BERBAHAN BAJA BEKAS PEGAS-DAUN

RIDHA WILDANIA
NRP 2114 105 049

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin, DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TUGAS AKHIR - TM141585

EFFECT OF TEMPERING TIME ON HARDNESS AND TOUGHNESS KITCHEN KNIFE WHERE SCRAP LEAF SPRING AS A RAW MATERIAL

RIDHA WILDANIA
NRP 2114 105 049

Advisor Lecturer
Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin, DEA

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH WAKTU *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PISAU DAPUR BERBAHAN BAJA BEKAS PEGAS-DAUN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIDHA WILDANIA

NRP. 2114 105 049

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA** (Pembimbing)
NIP. 196308151989032001
2. **Ir. Hari Subiyanto, MSc.** (Penguji 1)
NIP. 196006231988031002
3. **Indra Sidharta, ST., MSc.** (Penguji 2)
NIP. 198006192006041004
4. **Suwarno, ST., MSc., Ph.D** (Penguji 3)
NIP. 198005202005011003

SURABAYA

Januari 2017

PENGARUH WAKTU *TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PISAU DAPUR BERBAHAN BAJA BEKAS PEGAS-DAUN

Nama Mahasiswa : Ridha Wildania
NRP : 2114105049
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
**Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin,
DEA**

Abstrak

Baja bekas pegas-daun dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pisau dapur. Sifat yang harus dimiliki oleh pisau dapur yaitu keras, tangguh, tahan aus dan tahan korosi. Pegas-daun bekas memiliki nilai kekerasan rata-rata 46 HRC dan setelah dilakukan proses hardening (sepuh) oleh pandai besi kekerasannya meningkat antara 60 HRC-65 HRC. Dengan kekerasan tersebut pisau yang diproduksi terkadang mengalami retak atau bahkan patah ketika jatuh. Selain harus mempunyai kekerasan tinggi, pisau dapur juga harus mempunyai ketangguhan yang baik untuk menghindari terjadinya retak atau patah. Untuk mendapatkan ketangguhan pisau dapur yang baik dapat dilakukan melalui proses tempering.

Penelitian ini diawali pemanasan pisau dapur pada temperatur austenisasi 850°C dengan waktu penahanan 1 jam, kemudian dilakukan quenching dengan media pendingin oli (SAE 20 W) selama 1 menit. Setelah dilakukan quenching, dilanjutkan tempering pada temperatur 260°C dengan variasi waktu tempering 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam dan 2,5 jam kemudian dilakukan pendinginan di udara. Pengujian yang akan dilakukan meliputi uji kekerasan, uji impak dan pengamatan struktur mikro. Tiga pengujian tersebut juga dilakukan pada material baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) dan pada pisau dapur yang hanya melalui proses hardening (sepuh) di pandai besi.

Dari penelitian didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu tempering maka kekerasan semakin turun, tetapi impact strength semakin naik. Struktur mikro pisau dapur hasil tempering yaitu tempered martensite dan lower bainite. Waktu tempering yang tepat untuk menghasilkan kekerasan pisau dapur ideal yaitu 0,5 jam dan 1 jam.

Kata kunci : pisau dapur, pegas daun, waktu tempering.

EFFECT OF TEMPERING TIME ON HARDNESS AND TOUGHNESS KITCHEN KNIFE WHERE SCRAP LEAF SPRING AS A RAW MATERIAL

Name : Ridha Wildania
NRP : 2114105049
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor Lecturer : Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin,
DEA

Abstract

Scrap leaf spring commonly used for the manufacture of kitchen knife. The kitchen knife must have high hardness, great toughness, wear-resistant and corrosion-resistant. Scrap leaf spring has an average hardness value of 46 HRC and after the process of hardening by blacksmith increased hardness between 60 HRC - 65 HRC. With the high hardness sometimes fractured when dropped, so the kitchen knife should have a great toughness to avoid fracture. A great toughness kitchen knife can be obtained from the tempering.

This research was initiated by heating kitchen knife at an austenization temperature of 850°C with a holding time 1 hour, then quenching with an oil quench media (SAE 20 W) for 1 minute. After quenching, tempering is continued at a temperature of 260°C and the variation of tempering time are 0,5 jam, 1 hour, 1.5 hours, 2 hours and 2.5 hours with air cooling. Hardness test, impact test and microstructure observation are the testing method used in this research. Those three type of testing were also performed on the scrap leaf-spring before the manufacturing process and on a kitchen knife is only through the process of hardening in the blacksmith.

The result of this research are showed that the longer tempering time to achieve greater toughness by decreasing the hardness of the kitchen knife. The microstructure of kitchen knife after the tempering process of tempered martensite and lower

bainite. Precise time during the tempering kitchen knife to achieve the ideal hardness is 0.5 hours and 1 hour.

Keyword : kitchen knife , leaf spring, tempering time.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT, maka Tugas Akhir dengan judul **“PENGARUH WAKTU TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN PISAU DAPUR BERBAHAN BAJA BEKAS PEGAS-DAUN”** telah selesai disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin – Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa penyusunan ini tidak akan berhasil apabila tanpa ada bimbingan, bantuan, dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta (**M. Hanif dan Tutik Rahayu**) yang selalu memberi restu, nasihat, do'a dan dukungan.
2. Ibu **Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin, DEA**, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberi pengarahan serta bimbingan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Ir. Hari Subiyanto, MSc, Indra Sidharta, ST., MSc, Suwarno, ST., MSc., Ph.D.** selaku dosen penguji yang banyak memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng, Ph.D.** selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Ibu **Aida Annisa Amin D., ST., MT.** selaku dosen wali.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen S-1 Teknik Mesin FTI-ITS yang telah membimbing penulis selama duduk di bangku perkuliahan.
7. **Pak Mantri, Pak Endang, Pak Gatot, Pak Budi dan Mas Agus** atas batuan yang telah diberikan.
8. **Teman-teman lintas jalur angkatan 2014**, terima kasih atas do'a dan dukungannya, semoga persahabatan dan kebersamaan kita tetap utuh selamanya.

9. **Pratitis Yuniarsih** yang selalu siap membantu, mendo'akan dan mendukung selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
10. **Nadyah Ayu Ginanti, Ayu Bella Erwira, Rizky Ayu Artama Putri, Ika Nur Fauzziyah, Anugerah Devina Pangesti, Suci Wuri G. dan Angelia Hermiati Ayu W.** terima kasih atas do'a dan dukungannya.
11. **Mada Perwira** sebagai *partner* tugas akhir atas bantuan dan kerjasamanya.

Penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna di dunia ini, demikian juga dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapakan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xviii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2

BAB II DASAR TEORI

2.1 Baja	3
2.1.1 Baja Karbon	3
2.1.2 Baja Paduan	4
2.2 Baja Pegas	4
2.2.1 Baja Pegas-Daun	5
2.2.2 I-T Diagram Baja Pegas-Daun (JIS SUP 9A)	6
2.3 Pisau Dapur	8
2.3.1 Proses Pembuatan Pisau Dapur	9
2.3.2 Sifat Pisau Dapur	11
2.4 Perlakuan Panas	12
2.5 Pengerasan (<i>Hardening</i>)	12
2.6 <i>Tempering</i>	17
2.6.1 Dekomposisi <i>Martensite</i>	17
2.7 Kekerasan	19
2.7.1 Pengaruh Waktu <i>Tempering</i> Terhadap Kekerasan	20

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Baja pegas-daun.....	6
Gambar 2.2	I-T diagram baja pegas-daun (JIS SUP 9A) dengan kandungan karbon antara 0,56% sampai 0,64%	6
Gambar 2.3	Struktur mikro <i>martensite</i> baja pegas	8
Gambar 2.4	Struktur mikro <i>tempered martensite</i> (gelap) dan <i>ferrite</i> (terang) dari baja pegas hasil <i>tempering</i> pada temperatur 400°C a. penahanan 1 jam ; b. penahanan 2 jam	8
Gambar 2.5	Pisau dapur	9
Gambar 2.6	Diagram Fe-Fe ₃ C.....	13
Gambar 2.7	Pengaruh unsur paduan terhadap a. temperatur <i>eutectoid</i> ; b. komposisi <i>eutectoid</i>	14
Gambar 2.8	Daerah temperatur <i>quenching</i>	16
Gambar 2.9	Perbedaan kurva pendinginan a. pendinginan air; b. pendinginan oli	16
Gambar 2.10	Skema struktur yang terjadi pada pemanasan <i>martensite</i> dari baja <i>eutectoid</i>	18
Gambar 2.11	Indentor kerucut intan pada pengujian kekerasan metode <i>Rockwell C</i>	20
Gambar 2.12	Pengaruh waktu tempering pada empat temperatur yang berbeda dari baja <i>eutectoid</i>	20
Gambar 2.13	Pengaruh waktu tempering pada empat temperatur yang berbeda dari baja pegas	21
Gambar 2.14	Pengujian impak metode <i>Charpy</i>	21
Gambar 2.15	Pengaruh waktu penahanan terhadap <i>impact strength</i> JIS SUP 9A	23
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	28
Gambar 3.2	Pergeseran titik <i>eutectoid</i> pada diagram Fe-Fe ₃ C	29
Gambar 3.3	Penentuan media pendingin oli.....	30

Gambar 3.4	Baja bekas pegas-daun	31
Gambar 3.5	Pisau dapur yang telah melalui proses tempa dan gerinda di pandai besi	31
Gambar 3.6	Perlengkapan proses perlakuan panas di pandai besi a. tungku pembakaran; b. media <i>quenching oil</i>	34
Gambar 3.7	Skema proses perlakuan panas di pandai besi	35
Gambar 3.8	Dapur pemanas (<i>furnace</i>)	35
Gambar 3.9	Skema proses perlakuan panas di laboratorium..	36
Gambar 3.10	Alat uji kekerasan <i>Rockwell C</i>	37
Gambar 3.11	Dimensi dan lokasi indentasi spesimen baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) a. permukaan; b. penampang	38
Gambar 3.12	Lokasi pemotongan dan dimensi pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas	39
Gambar 3.13	Lokasi indentasi spesimen pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas a. permukaan; b. penampang	39
Gambar 3.14	Mesin uji dampak	40
Gambar 3.15	Lokasi pemotongan spesimen uji dampak pada pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas.....	41
Gambar 3.16	Dimensi standar uji dampak (JIS Z 2202).....	41
Gambar 3.17	a. Mesin <i>grinding</i> dan <i>polishing</i> ; b. mikroskop optik	36
Gambar 3.18	Dimensi dan lokasi pengamatan struktur mikro spesimen baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur).....	43
Gambar 3.19	Lokasi pemotongan dan dimensi spesimen pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas.....	43
Gambar 3.20	Lokasi pengamatan struktur mikro spesimen pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas.....	43

Gambar 4.1	Spesimen dan lokasi indentasi di permukaan a. baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur); b. pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas.....	46
Gambar 4.2	Spesimen dan lokasi indentasi di penampang a. baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur); b. pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas.....	46
Gambar 4.3	Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi	49
Gambar 4.4	Grafik kekerasan penampang pada tiap titik indentasi.....	50
Gambar 4.5	Grafik rerata kekerasan permukaan dan penampang spesimen	52
Gambar 4.6	Spesimen uji impak.....	55
Gambar 4.7	Dimensi spesimen uji impak.....	55
Gambar 4.8	Grafik <i>impact strength</i>	57
Gambar 4.9	Lokasi pengamatan struktur mikro a. baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur); b. pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas.....	60

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi kimia baja pegas	5
Tabel 2.2	Perlakuan panas dan sifat mekanik baja pegas- daun (JIS SUP 9A)	7
Tabel 2.3	Penelitian terdahulu	24
Tabel 3.1	Proses tempa	32
Tabel 3.1	Proses gerinda	33
Tabel 4.1	Komposisi kimia baja bekas pegas-daun dari hasil uji	45
Tabel 4.2	Hasil pengujian kekerasan pada permukaan spesimen	47
Tabel 4.3	Hasil pengujian kekerasan pada penampang spesimen	48
Tabel 4.4	Kisaran dan rerata kekerasan spesimen	51
Tabel 4.5	Hasil pengujian impak	56
Tabel 4.6	Pola patahan hasil pengujian impak	58
Tabel 4.7	Hasil pengamatan struktur mikro pada penampang spesimen	61

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Baja merupakan logam yang banyak digunakan untuk berbagai macam kebutuhan, bahkan baja bekaspun masih bisa dimanfaatkan. Salah satu contoh yaitu baja bekas pegas-daun yang dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pisau dapur. Sifat yang harus dimiliki oleh pisau dapur yaitu keras, tangguh, tahan aus dan tahan korosi. Pisau dapur dapat diproduksi secara manual (pandai besi) dan juga menggunakan mesin (pabrik). Meskipun saat ini pisau dapur hasil produksi pabrik banyak dijual di pasaran tetapi tidak menurunkan eksistensi pisau dapur yang diproduksi oleh pandai besi karena lebih baik dari segi ketajaman dan ketahanan terhadap aus.

Salah satu sifat yang meminta perhatian untuk diperbaiki pada pisau dapur hasil produksi pandai besi adalah ketangguhan. Pisau dapur hasil produksi pandai besi memang memiliki kekerasan yang cukup tinggi yaitu antara 60 HRC – 65 HRC, tetapi dengan kekerasan yang tinggi pisau dapur mengalami retak atau bahkan patah ketika jatuh, sehingga ketangguhan pisau dapur harus ditingkatkan untuk menghindari hal tersebut. Dalam hal ini, salah satu cara meningkatkan ketangguhan adalah dengan proses perlakuan panas *tempering*.

1. 2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu *tempering* terhadap sifat kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro dari pisau dapur.
2. Berapakah waktu *tempering* pisau dapur yang menghasilkan kekerasan ideal (55 HRC sampai 57 HRC) pada temperatur 260°C.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Perlakuan manual (tempa dan gerinda) diasumsikan sama untuk setiap spesimen.
2. Waktu perpindahan spesimen dari dapur pemanas ke media pendingin dianggap sama untuk setiap spesimen.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian *tempering* pada proses pembuatan pisau dapur ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu *tempering* terhadap sifat kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro dari pisau dapur.
2. Mengetahui waktu *tempering* pisau dapur yang menghasilkan kekerasan ideal (55 HRC sampai 57 HRC) pada temperatur 260°C.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini akan diaplikasikan pengetahuan mengenai pengaruh waktu *tempering* pada proses pembuatan pisau dapur di *home industry* pandai besi Surabaya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Baja

Baja adalah paduan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) yang memiliki kandungan karbon kurang dari 2% . Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (Mn), krom (Cr) dan silikon (Si). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Berdasarkan komposisi kimia, baja dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*) [1].

2. 1. 1 Baja Karbon

Baja karbon atau *plain carbon steel* adalah paduan dari dua unsur yaitu besi (Fe) dan karbon (C), dimana jumlah unsur campuran yang lain terlalu kecil untuk mempengaruhi sifatnya. Unsur paduan lain yang terdapat dalam baja karbon adalah mangan, silikon dan tembaga. Baja dengan kadar karbon rendah (kurang dari 0,1%) mempunyai sifat yang sama seperti besi, lunak tetapi mudah dibentuk. Semakin tinggi kadar karbon dalam baja, maka kekerasan dan kekuatan baja akan semakin tinggi, tetapi keuletannya menurun [1].

Berikut adalah keunggulan dari baja sehingga baja sering digunakan untuk berbagai macam kebutuhan :

- Ketersediaan bijih besi yang melimpah di alam dan kemudahan teknologi untuk mengolah bijih besi menjadi baja, membuat harga baja karbon relatif murah.
- Kekuatan baja karbon dapat divariasikan melalui proses perlakuan panas, sehingga dapat digunakan

pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan rendah maupun kekuatan tinggi.

- Baja karbon mempunyai keuletan yang cukup baik, sehingga mudah dilakukan proses pemesian [6].

2. 1. 2 Baja Paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, mangan, molibdenum, kromium, vanadium dan *wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletannya [1].

Baja paduan mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon karena terdapat unsur paduan selain karbon dalam jumlah tertentu. Pada baja paduan rendah (*low alloy steel*) total unsur paduannya antara 1 % - 4 %, sedangkan baja paduan tinggi (*high alloy steel*) total unsur paduannya lebih dari 10 % [6].

2. 2 Baja Pegas

Baja pegas adalah baja karbon tinggi yang biasa digunakan oleh pabrik pembuat pegas dan pembuat komponen-komponen kendaraan yang digunakan untuk menerima beban statik dan dinamik [16]. Pembuatan baja pegas harus melewati berapa proses, salah satunya adalah proses *heat treatment*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk memberikan sifat mekanik yang diinginkan seperti kekuatan tarik, ketangguhan, keuletan dan kekerasan untuk dijadikan baja pegas.

Baja pegas dalam penggunaannya terdiri dari baja pegas koil kadar karbon tinggi, baja kadar karbon tinggi dalam bentuk plat, baja pegas paduan, baja pegas *stainless steel*, baja pegas paduan tembaga, baja pegas paduan nikel dan baja pegas paduan dasar nikel dengan modulus elastisitas konstan.

2. 2. 1 Baja Pegas-Daun

Baja pegas-daun merupakan baja kadar karbon tinggi dalam bentuk plat yang paling banyak digunakan pada beberapa jenis kendaraan.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia baja pegas [9]

Unit : %

Designation of grade	C	Si	Mn	P ⁽¹⁾	S ⁽¹⁾	Cr	Mo	V	B
SUP 6	0,56 to 0,64	1,50 to 1,80	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	–	–	–	–
SUP 7	0,56 to 0,64	1,80 to 2,20	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	–	–	–	–
SUP 9	0,52 to 0,60	0,15 to 0,35	0,65 to 0,95	0,030 max.	0,030 max.	0,65 to 0,95	–	–	–
SUP 9A	0,56 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 to 1,00	–	–	–
SUP 10	0,47 to 0,55	0,15 to 0,35	0,65 to 0,95	0,030 max.	0,030 max.	0,80 to 1,10	–	0,15 to 0,25	–
SUP 11A	0,56 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 to 1,00	–	–	0,0005 min
SUP 12	0,51 to 0,59	1,20 to 1,60	0,60 to 0,90	0,030 max.	0,030 max.	0,60 to 0,90	–	–	–
SUP 13	0,56 to 0,64	0,15 to 0,35	0,70 to 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 to 0,90	0,25 to 0,35	–	–

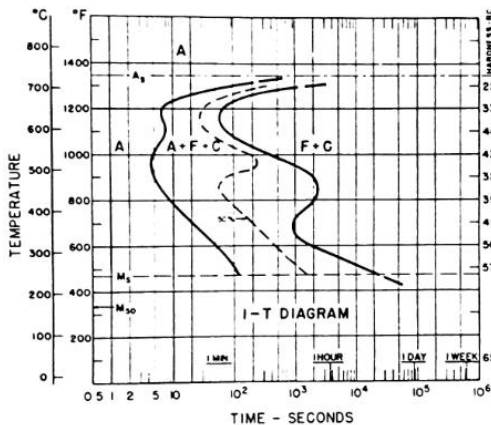
Baja pegas-daun (JIS SUP 9A) memiliki kandungan karbon antara 0,56% sampai 0,64% dan harga kekerasan *rockwell* antara 39 HRC sampai dari 46 HRC. Komposisi kimia dari baja pegas-daun (JIS SUP 9A) dapat dilihat pada tabel 2. 1.



Gambar 2. 1 Baja pegas-daun

2. 2. 2 I-T Diagram Baja Pegas-Daun (JIS SUP 9A)

Diagram Transformasi *Isothermal* atau I-T diagram menunjukkan dimulainya transformasi *austenite* sampai penurunan temperatur terhadap fungsi waktu [13]. Gambar 2. 2 merupakan I-T diagram dari baja pegas-daun (JIS SUP 9A). Berdasarkan *standard* [9], temperatur austenisasi baja pegas-daun (JIS SUP 9A) adalah 830-860°C (tabel 2. 2). Pendinginan yang sangat lambat akan menghasilkan *coarse pearlite*/ perlit kasar, untuk pendinginan yang lebih cepat akan menghasilkan *fine pearlite*/ perlit halus. Pendinginan yang sangat cepat menghasilkan struktur sangat keras dan getas yang disebut *martensite*. Temperatur *M_s* (*martensite start*) baja pegas daun (JIS SUP 9A) adalah 240°C.



Gambar 2. 2 I-T Diagram baja pegas daun (JIS SUP 9A) dengan kandungan karbon antara 0,56% sampai 0,64% [3]

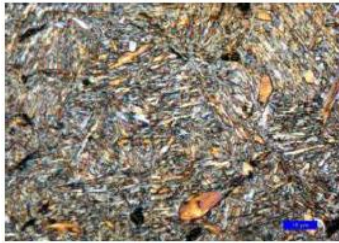
Tabel 2. 2 Perlakuan panas dan sifat mekanik baja pegas daun (JIS SUP 9A) [9]

Steel grade	Heat treatment		Mechanical properties				
	Quench (C°)	Temper (C°)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	El. % JIS No. 4 or No. 7	RA. % JIS No. 4	Hardness HB
SUP3	830-860	450-500	≥ 834	≥ 1079	≥ 8	-	341-401
SUP6	830-860	480-540	≥ 1070	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP7	830-860	480-540	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP9	830-860	460-510	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP9A	830-860	460-520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP10	840-870	470-640	≥ 1079	≥ 1226	≥ 10	≥ 30	363-429
SUP11A	830-860	460-520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP12	830-860	510-570	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429

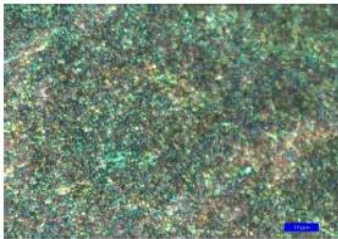
Struktur *martensite* bisa diperoleh apabila mencapai temperatur Ms dan selesai bertansformasi pada *martensite finish* (Mf). Ketika pendinginan berlangsung sangat cepat (tidak ada fungsi waktu), sehingga *austenite* berada pada temperatur dibawah Ms, maka setelah terjadi pergeseran sejumlah atom yang mengubah FCC (*face centered cubic*) menjadi BCC (*body centered cubic*) tidak lagi terjadi proses difusi. Atom karbon yang seharusnya keluar dari larutan akan terperangkap dalam struktur baru karena atom karbon tidak mempunyai energi untuk berdifusi akibat temperatur yang sudah terlalu rendah. Akibatnya, struktur baru tersebut terdistorsi tidak menjadi BCC tetapi menjadi BCT (*body centered tetragonal*) yang disebut sebagai *martensite*. Karena pendinginan yang sangat cepat, sehingga struktur FCC berubah menjadi BCT dan adanya tegangan sisa yang sangat besar akibat karbon yang terperangkap, menjadikan martensit memiliki kekerasan yang sangat tinggi tetapi getas (*brittle*) [13].

Gambar 2. 3 merupakan struktur mikro *martensite* baja pegas hasil *hardening* pada temperatur 870°C, ditahan selama 30

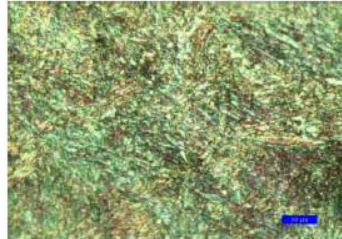
menit kemudian didinginkan cepat dengan media pendingin oli. Gambar 2. 4 Struktur mikro *martensite temper* (gelap) dan *ferrite* (putih) dari baja pegas hasil *tempering* pada temperatur 400°C (a) waktu penahanan 1 jam dan (b) waktu penahanan 2 jam [5].



Gambar 2. 3 Struktur mikro *martensite* dari baja pegas [9]



(a)



(b)

Gambar 2. 4 Struktur mikro *tempered martensite* (gelap) dan *ferrite* (terang) dari baja pegas hasil *tempering* pada temperatur 400°C

a. penahanan 1 jam; b. penahanan 2 jam [12]

2. 3 Pisau Dapur

Pisau adalah bilah baja tipis dan tajam sebagai alat pengiris dan sebagainya. Ada berbagai macam jenis pisau, salah satu contoh yaitu pisau dapur. Pisau dapur merupakan salah satu alat bantu yang digunakan dalam persiapan dan pembuatan makanan.



Gambar 2. 5 Pisau dapur

2. 3. 1 Proses Pembuatan Pisau Dapur

Proses pembuatan pisau dapur pada dasarnya sama dengan proses pembuatan jenis pisau yang lain, yang membedakan adalah bentuk, dimensi dan materialnya. Pisau dapur dapat diproduksi secara manual (pandai besi) dan juga menggunakan mesin (pabrik):

1. Proses pembuatan pisau dapur secara manual (pandai besi)

Sebagian besar pandai besi menggunakan baja pegas-daun bekas sebagai bahan baku pembuatan pisau dapur. Selain dari ketersediaannya yang melimpah juga dilihat dari komposisi kimia dari baja pegas-daun yang cocok sebagai bahan baku pisau dapur.

Proses pembuatan pisau dapur oleh pandai besi :

- a. Tempa

Proses tempa berfungsi untuk membentuk material awal (baja pegas daun bekas) hingga menjadi pisau dapur dengan cara memanaskan material awal di bara api selama kurang lebih 2 menit kemudian baru ditempa, kedua proses tersebut diulang beberapa kali hingga dimensi pisau dapur yang diinginkan tercapai.

b. Gerinda

Proses gerinda berfungsi untuk meratakan permukaan pisau dapur hasil proses tempa dan juga untuk membentuk sisi tajam dari pisau dapur tersebut.

c. Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas yang dilakukan di pandai besi yaitu sepuh (*hardening*) merupakan proses pengerasan pisau dapur dengan cara membakar pisau di tungku, kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) dengan media pendingin oli.

2. Proses pembuatan pisau dapur menggunakan mesin (pabrik)

Setiap pabrik memiliki urutan proses yang berbeda untuk membuat pisau dapur, tetapi secara garis besar proses yang dilakukan memiliki tujuan yang sama dan semuanya dilakukan oleh mesin. Material yang digunakan juga bermacam-macam.

Proses pembuatan pisau dapur di pabrik :

a. *Blanking*

Sebagian besar pabrik pembuatan pisau tidak lagi menggunakan proses tempa, tetapi menggunakan proses *blanking* untuk membentuk material awal menjadi pisau dapur karena dapat mempercepat proses produksi.

b. Gerinda

Proses gerinda berfungsi untuk membentuk sisi tajam dari pisau dapur. Ada

pabrik yang melakukan proses gerinda sebelum proses perlakuan panas, tetapi ada juga yang melakukan proses gerinda sesudah proses perlakuan panas.

c. Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas pisau dapur di pabrik hampir sama dengan di pandai besi, yaitu sama-sama melakukan proses *hardening* untuk meningkatkan kekerasan pisau dapur, tetapi yang membedakan adalah adanya proses *tempering* setelah proses *hardening* untuk memperoleh sifat ketangguhan dari pisau dapur tersebut.

2. 3. 2 Sifat Pisau Dapur

Ada beberapa sifat yang harus dimiliki oleh pisau dapur yaitu keras, tangguh, tahan aus dan tahan korosi, meskipun pada kenyataannya tidak akan didapatkan semua sifat tersebut sama-sama baik dalam produk pisau dapur. Sifat yang harus dimiliki dari pisau dapur [17] :

1. Keras

Keras adalah ketahanan pisau dapur terhadap deformasi ketika dikenai suatu beban. Pengujian kekerasan pisau dapur dapat dilakukan dengan uji kekerasan metode *rockwell C*. Nilai kekerasan dari pisau dapur berbeda-beda tergantung material yang digunakan, tetapi pada umumnya nilai kekerasan yang harus dimiliki pisau dapur yaitu antara 55 HRC sampai 57 HRC [8].

2. Tangguh

Tangguh adalah ketahanan pisau dapur terhadap kerusakan, seperti patah, retak atau *chipping*. Pengujian

ketangguhan pisau dapur dapat dilakukan dengan uji impact dan juga dapat dilihat dari pola patahan hasil uji impact.

3. Tahan Aus

Tahan aus adalah kemampuan pisau dapur untuk menahan abrasi akibat kontak langsung dengan benda keras lain. Tahan aus pisau dapur dipengaruhi oleh komposisi kimia material awal yang digunakan dan juga dipengaruhi oleh kekerasannya.

4. Tahan Korosi

Tahan korosi adalah kemampuan pisau dapur terhadap lingkungan sekitar yang lembab, basah dan mengandung garam.

2. 4 Perlakuan Panas

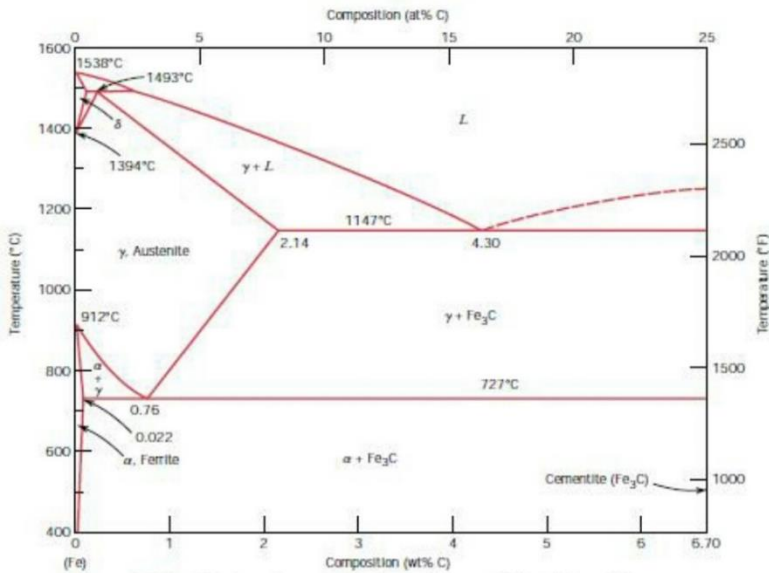
Perlakuan panas adalah kombinasi pemanasan dan pendinginan yang dilakukan terhadap paduan logam untuk memperoleh suatu sifat tertentu. Perlakuan panas dilakukan untuk menaikkan kekuatan dan kekerasan atau menaikkan keuletan dan ketangguhan.

Secara garis besar berbagai macam proses perlakuan panas dapat dibedakan menurut tingginya temperatur pemanasan, lamanya waktu penahanan (*holding time*) dan laju pendinginannya [13]. Proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua, yaitu proses perlakuan panas *equilibrium* dan proses perlakuan panas *non-equilibrium*. Proses perlakuan panas *equilibrium* untuk menaikkan sifat keuletan/ketangguhan, misalnya *annealing* dan *normalizing*, sedangkan proses perlakuan panas *non-equilibrium* untuk menaikkan kekuatan/ kekerasan, misalnya *quenching*, *tempering* dan *austempering*.

2. 5 Pengerasan (*Hardening*)

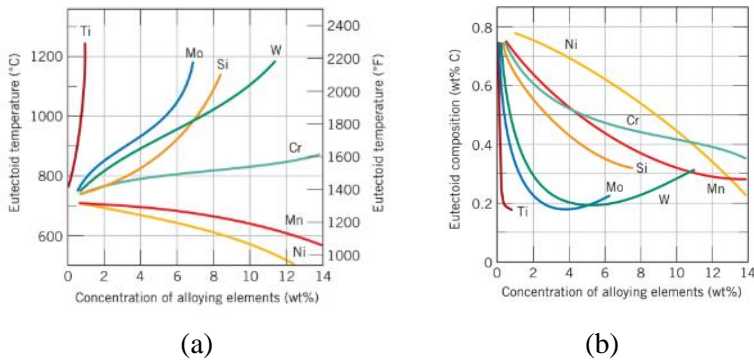
Hardening adalah proses pengerasan baja dengan cara melakukan perlakuan panas untuk membentuk struktur *martensite*

[13]. Proses *hardening* dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur *austenite*, ditahan beberapa saat (*holding time*) pada temperatur tersebut dengan tujuan menghomogenkan *austenite*-nya, lalu didinginkan cepat (*quenching*) ke dalam suatu media pendingin. Sebelum dilakukan pemilihan temperatur austenisasi dengan melihat diagram Fe-Fe₃C, terlebih dahulu dilakukan perhitungan pergeseran titik *eutectoid* akibat pengaruh unsur paduan dan juga mempertimbangkan *carbon equivalent* (CE) dari material yang digunakan.



Gambar 2. 6 Diagram Fe-Fe₃C [15]

Dari gambar 2. 6 diketahui bahwa titik *eutectoid* terletak pada kadar karbon 0,76% C dan temperatur 727°C, titik *eutectoid* tersebut hanya berlaku untuk baja dengan komposisi Fe dan C. Apabila ada unsur paduan dalam baja tersebut, maka titik *eutectoid* akan bergeser dan pergeserannya ditentukan dengan bantuan gambar 2. 7.



(a) (b)
Gambar 2. 7 Pengaruh unsur paduan terhadap
 a. temperatur *eutectoid*;
 b. komposisi *eutectoid* [15]

Pengaruh pergeseran titik *eutectoid* dapat dihitung menggunakan persamaan [15]:

$$T_e = \frac{\sum (T_x \times \%C_x)}{\sum \%C_x} \quad (^\circ\text{C})$$

$$C_e = \frac{\sum (T_x \times \%C_x)}{\sum T_x} \quad (\% \text{ C})$$

Dimana :

- T_e : Temperatur *eutectoid*
- C_e : Karbon *eutectoid*
- T_x : Temperatur *eutectoid* karena pengaruh unsur x ($^\circ\text{C}$)
- $\%C_x$: Karbon *eutectoid* karena pengaruh unsur x (% berat)

Untuk menghitung *carbon equivalent* dapat menggunakan persamaan [4] :

$$CE = C + \frac{Mn}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{Cr}{10} + \frac{Ni}{50} \quad (\% C)$$

Dimana :

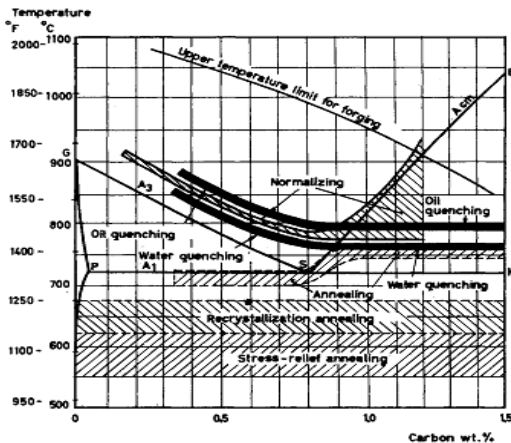
C	: Prosentase unsur C (% berat)
Mn	: Prosentase unsur Mn (% berat)
Mo	: Prosentase unsur Mo (% berat)
Cr	: Prosentase unsur Cr (% berat)
Ni	: Prosentase unsur Ni (% berat)

Hasil perhitungan CE diplot pada diagram Fe-Fe₃C (gambar 2. 6) untuk mendapatkan temperatur ausatenisasi dan untuk proses hardening temperatur austenisasi ditambah antara 50°C sampai 100°C [10]. CE dan temperatur austenasi digunakan untuk melihat media pendingin yang tepat (gambar 2. 8).

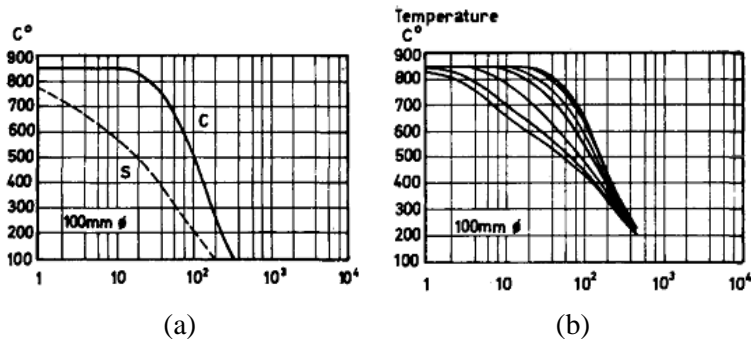
Laju pendinginan harus mencapai laju pendinginan kritis (*critical rate*) untuk memperoleh struktur yang sepenuhnya *martensite* [13]. Laju pendinginan yang kurang dari CCR akan mengakibatkan adanya sebagian *austenite* yang tidak bertransformasi menjadi *martensite* tetapi menjadi struktur lain, sehingga kekerasan maksimum tidak akan tercapai. Daerah temperatur *quenching* dapat dilihat pada Gambar 2. 8.

Dari gambar 2. 8 dijelaskan bahwa untuk baja karbon rendah (*low carbon steel*) dilakukan pendinginan dengan air. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*) menggunakan oli (*oil*) sebagai media pendingin [11].

Baja pegas daun (JIS SUP 9A) termasuk baja paduan rendah, sehingga digunakan oli sebagai media pendinginnya. Oli mempunyai kapasitas pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan air, dijelaskan pada gambar 2. 9. Jenis oli yang mudah dan murah biasanya digunakan *mineral oil* dengan viskositas yang rendah.



Gambar 2. 8 Daerah temperatur *quenching* [11]



Gambar 2. 9 Perbedaan kurva pendinginan
a. pendingin air; b. pendingin oli [15]

Pada saat baja bertemperatur tinggi dicelup ke dalam oli yang memiliki temperatur kamar, maka oli disekitar permukaan spesimen bisa menjadi uap. Uap akan menghambat perpindahan panas spesimen ke media pendingin jika tidak segera lepas dari permukaan. Waktu terlepasnya uap antara satu titik permukaan dengan titik yang lain tidak sama, sehingga laju pendinginan berbeda dan mengakibatkan kekerasan tidak merata [13].

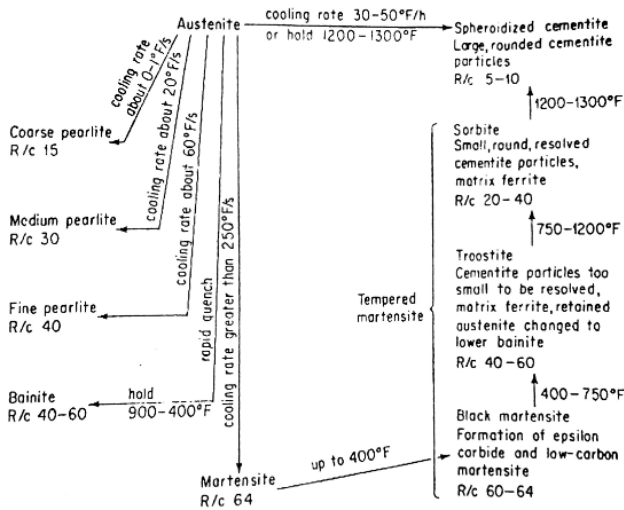
2.6 *Tempering*

Baja yang dikeraskan dan menghasilkan struktur *martensite* pada kondisi setelah di-*quenching* biasanya sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan *martensite* juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi, oleh karena itu pada umumnya setelah proses pengerasan atau *hardening* selalu diikuti dengan proses pemanasan kembali atau *tempering*.

Tempering adalah proses pemanasan kembali setelah *quenching* hingga mencapai temperatur tertentu (sesuai kebutuhan), ditahan beberapa saat (*holding time*) pada temperatur tersebut, kemudian didinginkan kembali. Tujuan dari tempering adalah untuk menghilangkan tegangan sisa akibat perbedaan temperatur yang sangat tinggi. Pada proses tempering kekerasan suatu baja akan turun seiring dengan naiknya ketangguhan dari baja tersebut [13].

2.6.1 Dekomposisi *Martensite*

Pemanasan kembali pada proses *tempering* mengakibatkan *martensite* yang merupakan suatu struktur metastabil berupa larutan padat *supersaturated* dimana karbon yang terperangkap dalam struktur BCT akan mulai keluar berpresipitasi membentuk karbida besi dan juga tumbuh menjadi *spheroidal cementite* ketika temperatur semakin dinaikkan. Tegangan di dalam struktur BCT akan berkurang akibat keluarnya karbon dan pertumbuhan *spheroidal cementite*, sehingga kekerasan juga mulai berkurang. Turunnya kekerasan ini akan semakin banyak bila temperatur pemanasan semakin tinggi atau waktu penahanan (*holding time*) semakin lama [13].



Gambar 2. 10 Skema struktur yang terjadi pada pemanasan *martensite* dari baja *eutectoid* [13]

Dari gambar 2. 10 dijelaskan bahwa proses *tempering* adalah proses pemberian energi panas kepada *martensite*, tentunya banyaknya energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga pada waktu penahanan (*holding time*), pada gambar tersebut dilakukan *holding time* yang sama yaitu selama 1 jam [13].

Ketika baja karbon dilakukan *tempering* mencapai temperatur 200°C, maka akan diperoleh struktur yang bila dietsa akan berwarna gelap, dinamakan *black martensite*. Pada temperatur tersebut *martensite* mulai berkurang tetragonalnya dan mulai terbentuk presipitasi karbida besi (*epsilon carbide*) yang sangat halus (*submicroscopic*). Baja masih memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi, ketangguhan dan keuletan yang rendah tetapi tegangan sisa sudah hilang.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 200°C sampai 400°C, menyebabkan *epsilon carbide* menjadi *cementite*

(Fe_3C), *low-carbon martensite* menjadi *ferrite* BCC dan *austenite* menjadi *bainite*. Cementite yang terjadi juga masih sangat halus (belum tampak dengan mikroskop optik) dan struktur ini bila dietsa akan berwarna gelap, dikenal dengan nama *troostite*. Kekerasan dan kekuatan turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan naik.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 400°C sampai 650°C, menyebabkan partikel *cementite* tumbuh besar dan *ferrite* mulai tampak jelas (keseluruhan struktur tampak lebih cerah), dikenal dengan nama *sorbite*. Kekuatan dan kekerasannya lebih banyak turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan sudah cukup tinggi.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 650°C sampai 705°C, menghasilkan partikel *cementite* yang kasar, berbentuk bola dan strukturnya sama seperti struktur yang diperoleh dengan *spherodizing*. Baja menjadi sangat lunak, ulet dan memiliki ketangguhan yang tinggi.

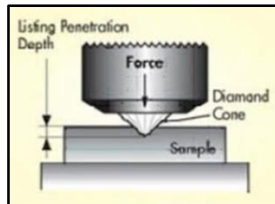
Semua hasil transformasi *martensite* disebut *martensite temper* karena sangat sulit untuk membedakan satu struktur dengan struktur yang lain [13].

2.7 Kekerasan

Ketahanan material terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi) dan indentasi merupakan definisi dari kekerasan. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance), tetapi tidak semua material yang memiliki kekerasan tinggi juga memiliki ketahanan aus yang baik karena adanya pengaruh unsur paduan pada masing-masing material. Kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan, tetapi berbanding terbalik dengan keuletan dan ketangguhan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekerasan yaitu kadar karbon, unsur paduan, pelakuan panas dan bentuk serta dimensi butir.

Ada beberapa jenis pengujian kekerasan yang terstandar diantaranya pengujian *Brinell*, *Vickers* dan *Rockwell*. Pengujian kekerasan metode *Rockwell C* menggunakan indentor berupa kerucut intan yang memiliki sudut puncak 120°. Nilai kekerasan

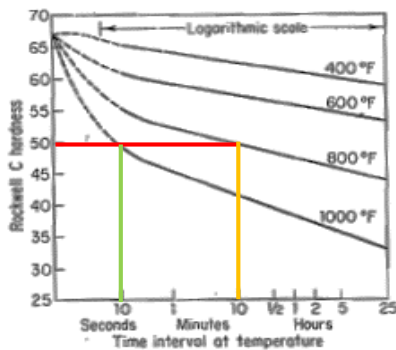
berdasarkan kedalaman penekanan indenter dan hasilnya dapat langsung dibaca pada jarum penunjuk indikator di mesin uji *Rockwell C* sehingga lebih cepat dan akurat [14].



Gambar 2. 11 Indentor kerucut intan pada pengujian kekerasan metode *Rockwell C*

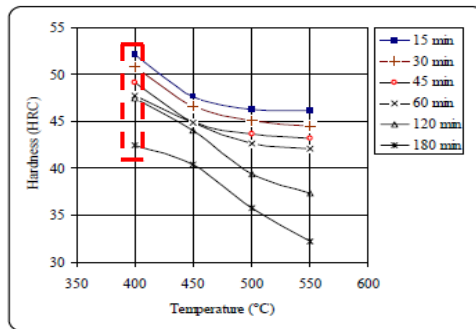
2. 7. 1 Pengaruh Waktu *Tempering* Terhadap Kekerasan

Proses *tempering* merupakan pemberian energi panas pada *martensite*. Banyaknya energi panas yang diberikan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga pada waktu. Gambar 2. 12 menjelaskan mengenai pengaruh waktu *tempering* terhadap kekerasan pada 4 temperatur yang berbeda untuk baja *eutectoid*, sedangkan pengaruh waktu *tempering* terhadap kekerasan pada 4 temperatur yang berbeda untuk baja pegas dapat dilihat pada gambar 2. 11, semua struktur mikro yang terbentuk dari hasil tempering disebut *martensite temper*.



Gambar 2. 12 Pengaruh waktu *tempering* pada empat temperature yang berbeda dari baja *eutectoid* [13]

Dari gambar 2. 12 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu tempering, maka kekerasan akan semakin turun. Nilai kekerasan yang sama dapat diperoleh menggunakan temperatur yang lebih tinggi dengan waktu yang lebih pendek atau temperatur yang lebih rendah dengan waktu yang lebih panjang [13].



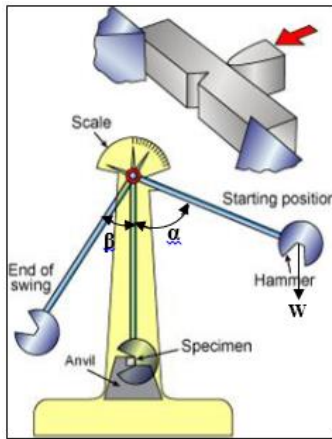
Gambar 2. 13 Pengaruh waktu *tempering* pada empat temperatur yang berbeda dari baja pegas [12]

Seperti pada gambar 2. 12, gambar 2. 13 juga memiliki kecenderungan yang sama yaitu nilai kekerasan semakin turun seiring lamanya waktu *tempering*. Ketika baja pegas dipanaskan pada temperatur 400°C didapatkan nilai kekerasan terendah sebesar 42,5 HRC dari waktu tempering terlama (180 menit), sedangkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 52 HRC didapatkan dari waktu tempering terpendek (15 menit).

2. 8 Ketangguhan

Kemampuan menyerap energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan merupakan definisi dari ketangguhan. Tiga faktor utama yang mempengaruhi hasil pengujian impak yaitu tegangan triaxial (bentuk dan dimensi *notch*), temperatur dan laju peregangan (kecepatan pembebanan)

Untuk mengetahui ketangguhan benda jika dikenai beban kejut, maka dapat dilakukan pengujian impact. Pada pengujian impact digunakan batang uji yang bertakik (*notch*) dan dipukul dengan sebuah bandul. Terdapat dua macam *standard* metode pengujian yang digunakan, yaitu metode *charpy* digunakan di Amerika dan negara-negara lain (gambar 2. 14), dan metode *Izod* digunakan di Inggris [14].



Gambar 2. 14 Pengujian impact metode *charpy*

Energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dapat langsung dilihat pada mesin uji *impact*. Kekuatan impact (*impact strength*) adalah ketahanan batang uji terhadap pukulan (*impact*) yang dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$IS = \frac{W \times l (\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \quad \left(\frac{kgm}{mm^2} \right)$$

Dimana :

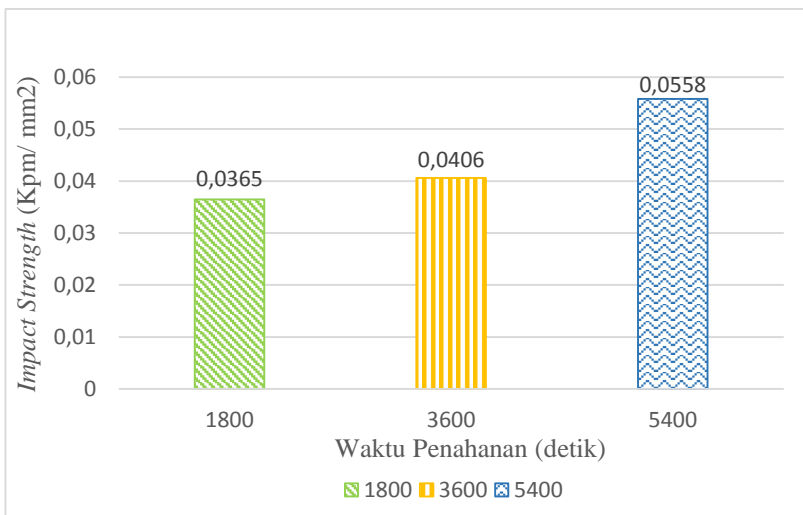
- W : Berat bandul (kg)
- A : Luas penampang pada bagian yang tertakik (mm^2)
- l : Panjang batang bandul (m)

α : Sudut awal ($^{\circ}$)
 β : Sudut akhir ($^{\circ}$)

Pengujian impak juga digunakan untuk mempelajari pola patahan, apakah patah getas (*brittle fracture*) atau patah ulet (*ductile fracture*). Untuk mempelajari ini dilakukan pengamatan visual pada permukaan patahan. Patahan getas (*granular fracture*) tampak berkilat dan berbutir. Sedangkan patahan ulet (*shear fracture*) tampak lebih gelap dan seperti berserabut [13].

2. 8. 1 Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Ketangguhan

Selain berpengaruh terhadap kekerasan waktu *tempering* juga berpengaruh terhadap ketangguhan. Semakin lama waktu *tempering* maka *impact strength* akan semakin naik (gambar 2. 15).



Gambar 2. 15 Pengaruh waktu penahanan terhadap *impact strength* JIS SUP 9A [2]

Gambar 2. 15 merupakan grafik hasil uji impak baja pegas JIS SUP 9A yang telah diproses tempering pada temperatur 500°C dengan waktu penahanan 1800 detik, 3600 detik dan 5400 detik. Grafik *impact strength* memiliki kecenderungan yang naik seiring lamanya waktu penahanan. Waktu penahanan 1800 detik menghasilkan *impact strength* 0,0365 Kpm/ mm², sedangkan waktu penahanan 3600 detik mengalami prosentase kenaikan sebesar 10% dengan nilai *impact strength* 0,0406 Kpm/ mm² terhadap waktu penahanan 1800 detik. Untuk waktu penahanan 5400 detik mengalami kenaikan nilai *impact strength* tertinggi yaitu sebesar 0,0558 Kpm/ mm² dengan prosentase kenaikan 34,5% terhadap waktu penahanan 1800 detik.

2. 9 Penelitian Terdahulu

Uraian singkat mengenai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Peneitian terdahulu

	Penelitian I	Penelitian II	Penelitian III
Pengarang	Adiel Elsafandi Ardianto [2]	Januard Buyung Bandaso [7]	Min Shan HTUN, dkk [12]
Tahun	2011	2016	2009
Judul	Pengaruh Waktu Penahanan pada Proses <i>Quenching-Prititioning</i> dan <i>Quenching-Tempering</i> Terhadap Sifat Mekanik Baja Pegas JIS SUP 9A.	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Pisau dari Material Baja Bekas	<i>Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel</i>

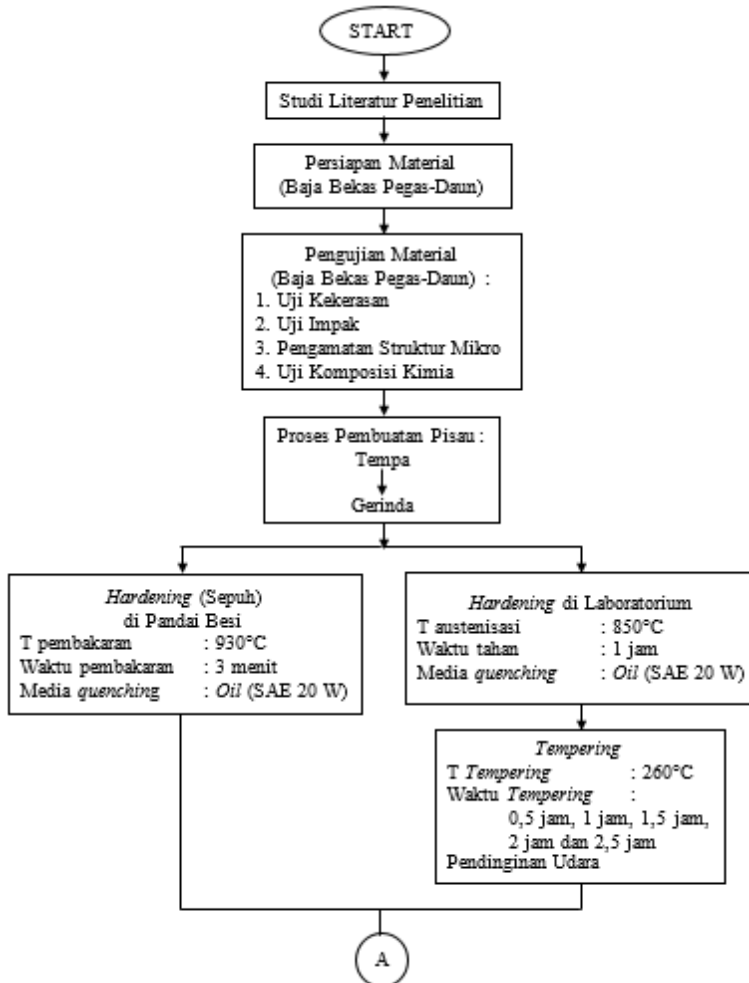
Variabel	Perlakuan Panas: 1. <i>Quenching-Partitioning</i> (Temperatur 225°C, waktu penahanan 100, 200 dan 300 detik). 2. <i>Quenching-Tempering</i> (Temperatur 500°C, waktu penahanan 1800, 3600 dan 5400 detik).	Perlakuan panas : 1. <i>Hardening</i> pandai besi 2. Hardening Lab dan Tempering (Temperatur 400°C, <i>holding time</i> 1 jam) 3. Flame <i>Hardening</i>	1. Temperatur <i>tempering</i> (400°C, 450°C, 500°C) 2. <i>Holding time</i> (1 jam , 2 jam dan 3 jam tiap temperatur <i>tempering</i>)
Material	Baja Pegas JIS SUP 9A	1. Poros Roda Depan 2. Poros <i>Swing Arm</i> 3. Pegas Daun 4. Poros Mesin Industri 5. Poros Pewarna Batik	Baja pegas (C-0,52%, CR-0,61%, Mn-0,7%, Si-0,21%, P-0,03%, S-0,04%)
Tujuan	Mengetahui pengaruh <i>Quenching-Partitioning</i> dan <i>Quenching-Tempering</i> terhadap sifat mekanik baja pegas JIS SUP 9A.	Mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan pisau yang terbuat dari material baja bekas	Mengetahui pengaruh perlakuan panas <i>tempering</i> terhadap kekerasan, <i>ultimate tensile strength</i> dan <i>yield strength</i> .

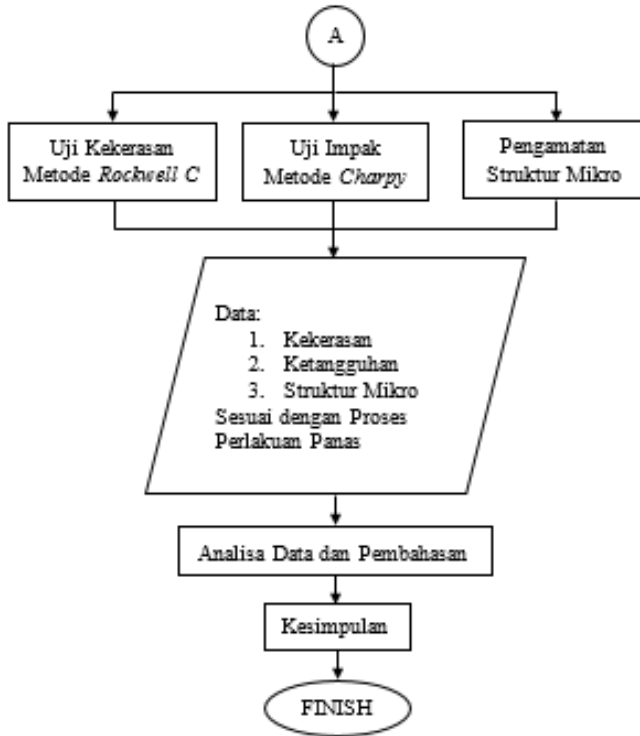
<p>Hasil</p>	<p>Semakin lama waktu penahanan baik pada proses <i>quenching-partitioning</i> maupun <i>quenching-tempering</i>, maka kekuatan tarik dan kekerasan menurun, sedangkan <i>elongation</i> dan <i>impact strength</i> meningkat. sedangkan <i>elongation</i> dan <i>impact strength</i> meningkat.</p>	<p>1. Material yang memiliki kekerasan paling tinggi adalah baja pegas-daun 2. Kekerasan turun setelah dilakukan proses <i>Tempering</i></p>	<p>Pada temperatur <i>tempering</i> yang sama, kekerasan akan semakin turun seiring bertambahnya <i>holding time</i></p>
---------------------	--	---	---

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan observasi yang dilaksanakan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir (gambar 3. 1) :





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3. 1. 1 Menentukan Temperatur Austenisasi dan Media Pendingin

T_x (temperatur *eutectoid* karena pengaruh unsur x) dan C_x (karbon *eutectoid* karena pengaruh unsur x) yang didapatkan dari gambar 2. 7 digunakan untuk menghitung persamaan [15]:

$$T_e = \frac{\sum (T_x \times \%C_x)}{\sum \%C_x}$$

$$= \frac{(700 \times 0,7 + 700 \times 0,75 + 750 \times 0,68)}{0,7 + 0,75 + 0,68}$$

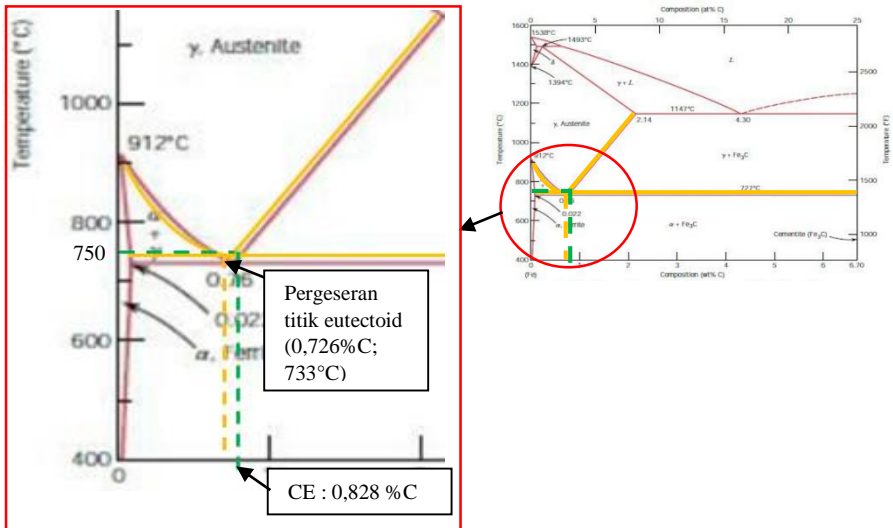
$$= 733,56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_e = \frac{\sum (T_x \times \%C_x)}{\sum T_x}$$

$$= \frac{(700 \times 0,7 + 700 \times 0,75 + 750 \times 0,68)}{700 + 700 + 750}$$

$$= 0,726 \% \text{ C}$$

Dari hasil perhitungan diatas dituangkan pada diagram Fe-Fe₃C (gambar 3. 2).

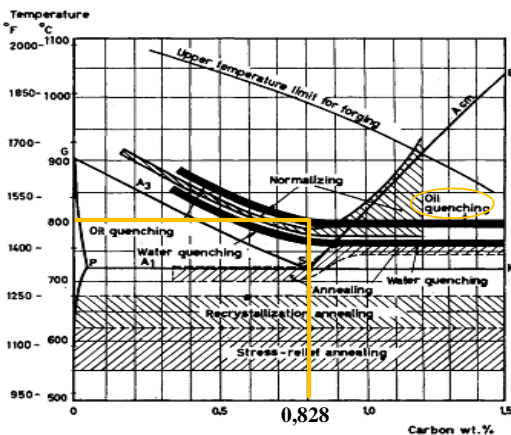


Gambar 3. 2 Pergeseran titik *eutectoid* pada diagram Fe-Fe₃C (garis kuning)

Menghitung *carbon equivalent* menggunakan persamaan [4] :

$$\begin{aligned}
 CE &= C + \frac{Mn}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{Cr}{10} + \frac{Ni}{50} \\
 &= 0,579 + \frac{0,815}{5} + \frac{0,0058}{5} + \frac{0,849}{10} + 0 \\
 &= 0,828 \% C
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan CE diplot pada gambar 3. 2 dan didapatkan temperatur austenisasi 740°C, tetapi untuk proses hardening temperatur harus ditambah 50°C sampai 100°C [10], sehingga dipilih temperatur austenisasi 850°C. Untuk menentukan media pendingin dapat dilihat gambar 3. 3, digunakan temperatur austenisasi minimum yaitu 800°C dengan kadar karbon 0,828 % C, maka didapatkan media pendingin oli (gambar 3. 3) untuk baja pegas-daun JIS SUP 9A (bahan pisau dapur).



Gambar 3. 3 Penentuan media pendingin oli (garis kuning)

3.2 Material

Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah baja bekas pegas-daun (gambar 3. 4) memiliki panjang 400mm, lebar 70mm dan tebal 7mm, untuk mengetahui komposisi kimia dari material dilakukan pengujian komposisi kimia menggunakan mesin uji spektrometer.



Gambar 3. 4 Baja bekas pegas-daun

3.3 Pembuatan Pisau Dapur

Terdapat dua tahap pembuatan pisau dapur, yaitu proses tempa dan proses gerinda. Gambar 3. 5 merupakan gambar pisau dapur hasil produksi pandai besi yang telah melalui proses tempa dan gerinda.

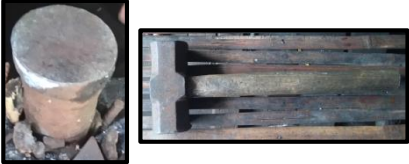



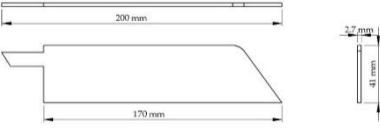


Gambar 3. 5 Pisau dapur yang telah melalui proses tempa dan gerinda di pandai besi

3.3.1 Proses Tempa

Tahap pertama pembuatan pisau dapur adalah proses tempa (tabel 3. 1) :



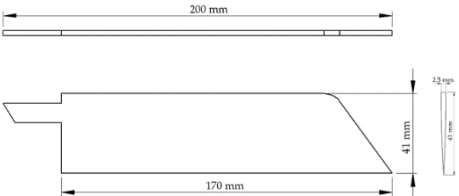
Tabel 3. 1 Proses Tempa

No.	Peralatan dan Tahapan Proses Tempa	Gambar
1.	Persiapan peralatan, ada dua Peralatan yang digunakan untuk proses tempa yaitu (a) <i>anvil</i> dan (b) palu.	 (a) (b)
2.	Benda kerja dari baja bekas pegas-daun dipotong menjadi dua bagian.	
3.	Benda kerja yang telah dipotong dipanaskan di bara api selama 1 menit ($T \approx 500^{\circ}\text{C}$).	
4.	Setelah dipanaskan, benda kerja ditempa kurang lebih selama 50 detik.	
5.	Proses 3 dan 4 diulang beberapa kali hingga menjadi pisau dapur dengan dimensi sesuai gambar di samping.	

3.3.2 Proses Gerinda

Setelah ditempa, pisau dapur digerinda (tabel 3. 2) :

Tabel 3. 2 Proses gerinda

No.	Peralatan dan Tahapan Proses Tempa	Gambar
1.	Persiapan peralatan, Peralatan yang digunakan yaitu gerinda tangan.	
2.	Pisau dapur hasil proses tempa digerinda di seluruh permukaan sampai rata, kemudian pisau yang sudah rata digerinda hanya di bagian ujung pisau untuk menghasilkan sudut yang tajam.	
3.	Proses 2 diulang beberapa kali hingga menghasilkan pisau dapur dengan dimensi sesuai gambar di samping.	

3.4 Proses Perlakuan Panas

Pada penelitian ini, proses perlakuan panas dilakukan di dua tempat yaitu di salah satu pandai besi Surabaya dan di Laboratorium *Metallurgy* Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Proses perlakuan panas yang dilakukan di pandai besi hanya proses *hardening* (sepuh), sedangkan proses perlakuan panas di

laboratorium meliputi *hardening* dan *tempering* dengan lima variasi waktu *tempering*.

3. 4. 1 Proses Perlakuan Panas di Pandai Besi

Perlengkapan yang digunakan pada proses perlakuan panas di pandai besi adalah tungku pembakaran (gambar 3. 6a) dan oli (SAE 20W) sebagai media *quenching* (gambar 3. 6b).



(a)

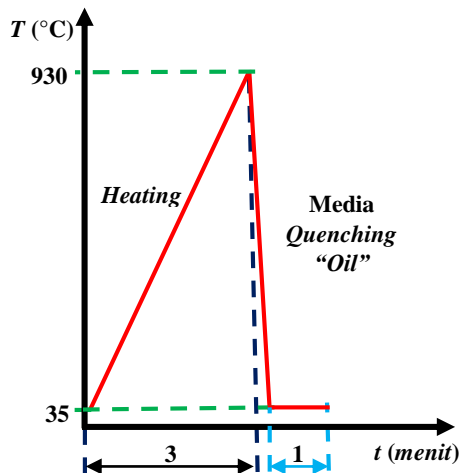


(b)

Gambar 3. 6 Perlengkapan proses perlakuan panas di pandai besi
a. tungku pembakaran; b. media *quenching oil*

Proses perlakuan panas pisau dapur di pandai besi :

1. Dilakukan proses sepuh yaitu pisau dapur dimasukkan ke dalam tungku pembakaran selama 3 menit dengan perkiraan temperatur 930°C .
2. Pisau dapur dikeluarkan dari tungku pembakaran, dimasukkan ke dalam media *quenching oil* (SAE 20W) dan ditahan selama 1 menit.



Gambar 3. 7 Skema proses perlakuan panas di pandai besi

3. 4. 2 Proses Perlakuan Panas di Laboratorium

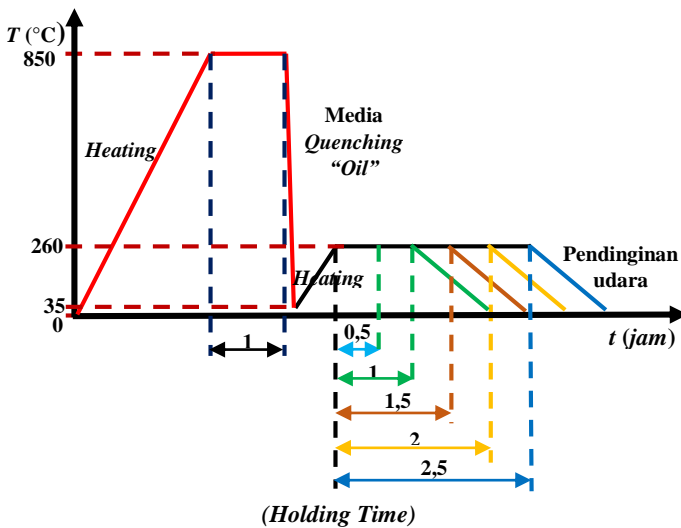
Perlengkapan yang digunakan pada proses perlakuan panas di laboratorium yaitu dapur pemanas (gambar 3. 8) dan oli (SAE 20W) sebagai media *quenching*. Oli yang digunakan pada proses perlakuan panas di laboratorium sama dengan oli yang digunakan pada proses perlakuan panas di pandai besi (gambar 3. 6b).



Gambar 3. 8 Dapur pemanas (*furnace*)

Proses perlakuan panas pisau dapur di laboratorium :

1. Dilakukan pemanasan (*heating*) pisau dapur di dalam *furnace* hingga mencapai temperatur austenisasi 850°C dan ditahan (*holding time*) selama 1 jam.
2. Pisau dapur dikeluarkan dari *furnace*, dimasukkan ke dalam media *quenching oil* (SAE 20W) dan ditahan selama 1 menit.
3. Setelah *quenching*, dilakukan *tempering* yaitu pisau dapur dipanaskan kembali di dalam *furnace* sampai temperatur 260°C dan ditahan (*holding time*) dengan waktu penahanan 30 menit.
4. Pisau dapur dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan di udara.
5. Tahap 1-4 diulangi untuk pisau dapur kedua, ketiga, keempat dan kelima dengan masing-masing waktu *tempering* (tahap 3) yaitu 1 jam, 1.5 jam, 2 jam dan 2.5 jam.



Gambar 3. 9 Skema proses perlakuan panas di laboratorium

3.5 Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan dua pengujian mekanik yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impak, selain itu juga dilakukan pengamatan struktur mikro. Pengujian mekanik dan pengamatan struktur mikro dilakukan pada material baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) dan pada pisau dapur yang telah diproses perlakuan panas.

3.5.1 Pengujian Kekerasan

Metode yang digunakan pada pengujian kekerasan yaitu metode *Rockwell C* menggunakan mesin uji merk *Frank* (gambar 3. 10) di Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

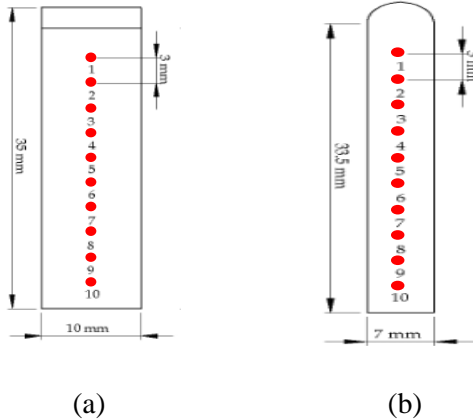


Gambar 3. 10 Alat uji kekerasan *Rockwell C*

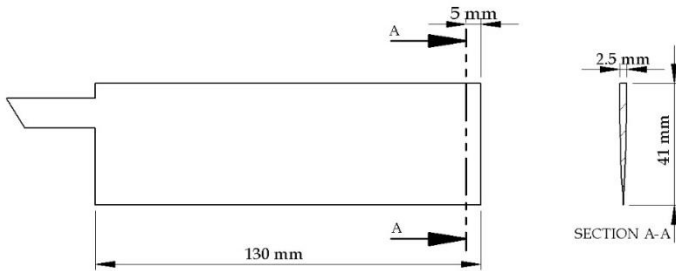
Prosedur pengujian kekerasan metode *Rockwell C* :

1. Spesimen dari baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) dipotong menggunakan gerinda tangan dengan dimensi sesuai gambar 3. 11.
2. Spesimen dari pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas dipotong menggunakan mesin *wire cut* dengan dimensi sesuai gambar 3. 12.

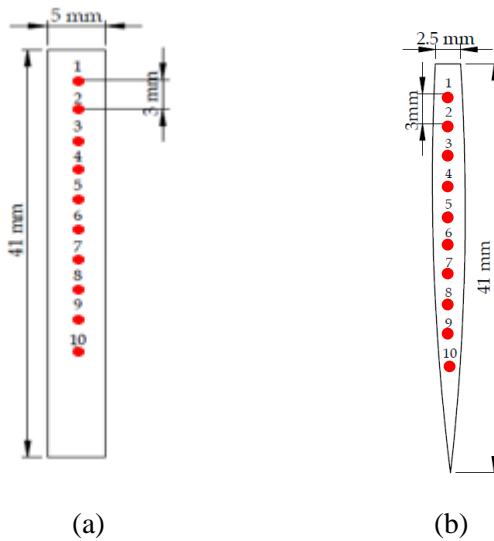
3. Proses gerinda yaitu spesimen digosok menggunakan kertas gosok *grit* 80-500 pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3. 17a).
4. Pemetaan lokasi indentasi pada permukaan spesimen baja pegas-daun bekas (gambar 3. 11a) dan spesimen pisau dapur (gambar 3. 13a) tepat di bagian *center* dengan jarak antar titik indentasi adalah 3 mm.
5. Pemetaan lokasi indentasi pada daerah penampang spesimen baja bekas pegas-daun (gambar 3. 11b) dan spesimen pisau dapur (gambar 3. 13b) tepat di bagian tengah dengan jarak antar titik indentasi adalah 3 mm.
6. Spesimen diletakkan pada alat uji kekerasan *Rockwell C* dan dilakukan pengujian.
7. Nilai kekerasan dari spesimen langsung dapat dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat.



Gambar 3. 11 Dimensi dan lokasi indentasi (titik merah) spesimen baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur):
a. permukaan; b. penampang



Gambar 3. 12 Lokasi pemotongan dan dimensi spesimen pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas



Gambar 3. 13 Lokasi indentasi (titik merah) spesimen pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas:
a. permukaan; b. penampang

3. 5. 2 Pengujian Impak

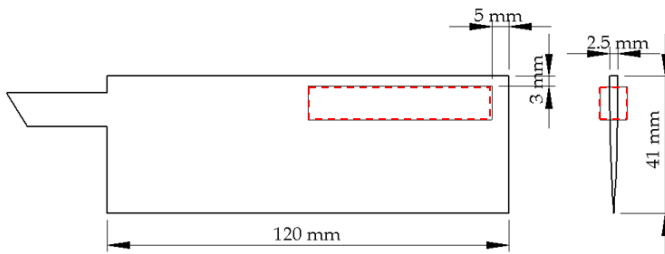
Mesin uji yang digunakan pada pengujian impak adalah mesin uji merk *Frank* (gambar 3. 14) dengan metode *Charpy* dan spesimen diberi takikan berbentuk V. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.



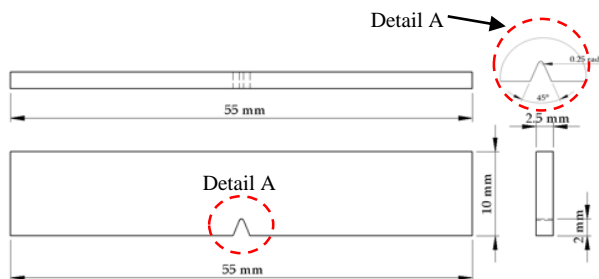
Gambar 3. 14 Mesin uji impak

Prosedur pengujian impak metode *Charpy* :

1. Baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) dan pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas dipotong menjadi spesimen uji impak pada lokasi sesuai gambar 3. 15 (garis putus-putus warna merah), lokasi tersebut dipilih karena memiliki ketebalan yang relatif sama. Pemotongan spesimen menggunakan mesin *wire cut* dengan dimensi sesuai dengan standar JIS Z 2202 (gambar 3. 16).
2. Spesimen diletakkan pada landasan (*anvil*), bandul/beban diangkat kemudian dilepaskan.
3. Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat.
4. *Impact strength* dihitung.



Gambar 3. 15 Lokasi pemotongan spesimen uji impak (garis putus-putus merah) pada pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas



Gambar 3. 16 Dimensi standar uji impak (JIS Z 2202)

3. 5. 3 Pengamatan Struktur Mikro

Perlengkapan yang digunakan pada pengamatan struktur mikro yaitu :

- Mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3. 17a).
- Mikroskop optik (gambar 3.17b).
- Kertas gosok *grit* 80 sampai 2000.
- Kain bludru dan serbuk alumina.
- Asam nitrat (HNO_3) dan alkohol.



(a)

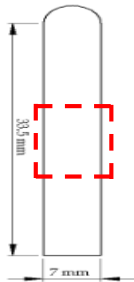


(b)

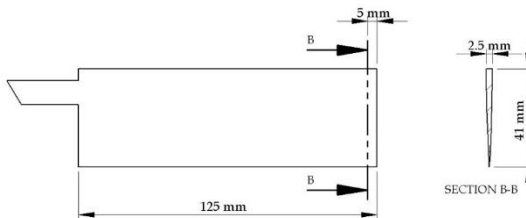
Gambar 3. 17 a. Mesin *grinding* dan *polishing*;
b. Mikroskop optik

Prosedur pengamatan struktur mikro :

1. Spesimen dari material baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) dapat dilihat pada gambar 3. 18.
2. Spesimen dari pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas dipotong menggunakan mesin *wire cut* dengan dimensi sesuai gambar 3. 19.
3. Spesimen digerinda menggunakan kertas gosok *grit* 80 sampai 2000 pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3. 17a) yang dialiri air.
4. Spesimen dipoles pada mesin *grinding* dan *polishing* (gambar 3. 17a) menggunakan kain bludru dan serbuk alumina hingga tidak ada goresan pada spesimen.
5. Spesimen dietsa menggunakan campuran 2% asam nitrat (HNO_3) dan 98% alkohol selama beberapa detik, dicelup alkohol, dicuci menggunakan air dan dikeringkan.
6. Spesimen diamati struktur mikro pada lokasi pengamatan sesuai gambar 3. 18 (untuk spesimen baja pegas-daun bekas) dan gambar 3. 20 (untuk spesimen pisau dapur) menggunakan mikroskop optik (gambar 3. 17b) dengan perbesaran 500X dan 1000X.



Gambar 3. 18 Dimensi dan lokasi pengamatan struktur mikro (garis putus-putus merah) spesimen baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur)



Gambar 3. 19 Lokasi pemotongan dan dimensi spesimen pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas



Gambar 3. 20 Lokasi pengamatan struktur mikro (garis putus-putus merah) spesimen pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

Pengujian dan pengumpulan data dilakukan pada spesimen baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) dan pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas. Data yang didapatkan dari pengujian yaitu nilai kekerasan, energi impak dan struktur mikro semua spesimen.

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Mesin uji yang digunakan pada pengujian komposisi kimia adalah spektrometer. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 4. 1, sedangkan lembar pengujian asli dapat dilihat pada lampiran 1. Baja pegas-daun JIS SUP 9A [9] digunakan sebagai pembanding dari hasil pengujian.

Tabel 4. 1 Komposisi kimia baja bekas pegas-daun dari hasil uji

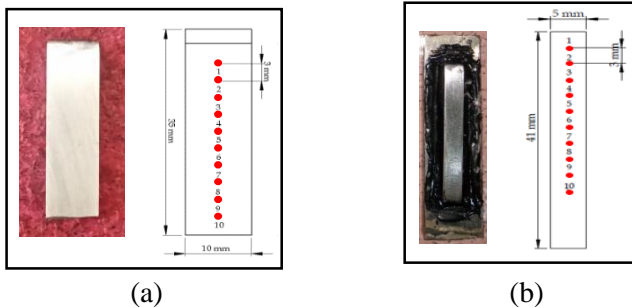
No.	UNSUR	BAJA BEKAS PEGAS-DAUN (%)	STANDARD JIS SUP 9A (%)
1.	Carbon (C)	0,579	0,56-0,64
2.	Silicon (Si)	0,211	0,15-0,35
3.	Mangan (Mn)	0,815	0,70-1,00
4.	Posphour (P)	0,0144	Max 0,030
5.	Sulphur (S)	0,0119	Max 0,030
6.	Chromium (Cr)	0,849	0,70-1,00
7.	Molybdenum (Mo)	0,0058	-
8.	Vanadium (V)	0,0029	-
9.	Boron (B)	<0,0003	-

Dari hasil pengujian (tabel 4. 1) dapat diketahui bahwa komposisi kimia baja bekas pegas-daun masuk dalam kisaran

standar JIS SUP 9A [9], sehingga dapat disimpulkan bahwa baja bekas pegas-daun termasuk JIS SUP 9A.

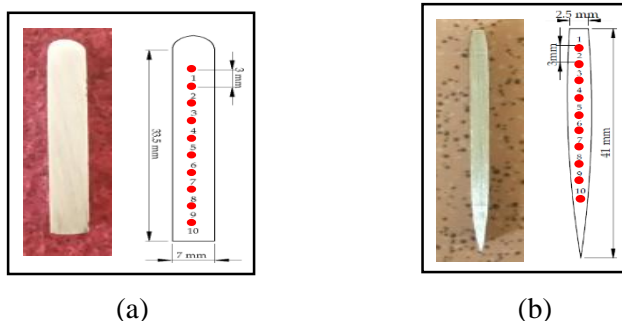
4.2 Pengujian Kekerasan

Dilakukan pengujian kekerasan pada delapan spesimen menggunakan metode *Rockwell C*. Spesimen dan lokasi indentasi permukaan dan penampang ditunjukkan pada gambar 4. 1 dan 4. 2.



Gambar 4. 1 Spesimen dan lokasi indentasi (titik merah) di permukaan

- a. baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur);
- b. pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas



Gambar 4. 2 Spesimen dan lokasi indentasi (titik merah) di penampang

- a. baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur);
- b. pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas

4. 2. 1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan permukaan dan penampang dituangkan pada tabel 4. 2 dan 4. 3.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian kekerasan pada permukaan spesimen

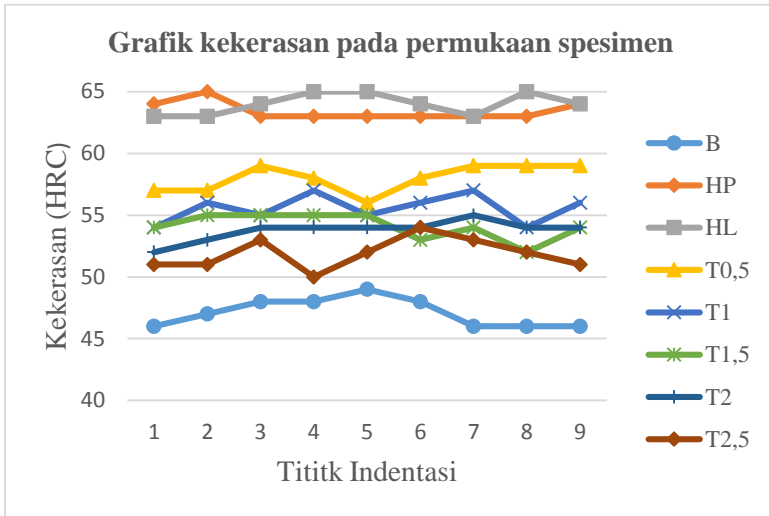
Kode	Spesimen		Kekerasan pada tiap titik indentasi (HRC)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B	Baja bekas pegas-daun		46	47	48	48	49	48	46	46	46	47
HP	Pisau dapur perlakuan panas <i>hardening</i>	Pandai besi	64	65	63	63	63	63	63	63	64	64
HL		Labora-torium	63	63	64	65	65	64	63	65	64	64
		Waktu <i>temper-ing</i>										
T0,5	Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	0,5 jam	57	57	59	58	56	58	59	59	59	58
T1		1 jam	54	56	55	57	55	56	57	54	56	56
T1,5		1,5 jam	54	55	55	55	55	53	54	52	54	55
T2		2 jam	52	53	54	54	54	54	55	54	54	54
T2,5		2,5 jam	51	51	53	50	52	54	53	52	51	52

Tabel 4. 3 Hasil pengujian kekerasan pada penampang spesimen

Kode	Spesimen		Kekerasan pada tiap titik indentasi (HRC)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B	Baja bekas pegas-daun		46	46	46	47	47	46	47	46	47	47
HP	Pisau dapur perlakuan panas <i>hardening</i>	Pandai besi	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63
HL		Labora-torium	62	62	62	63	64	63	63	64	64	64
		Waktu <i>temper-ing</i>										
T0,5	Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	0,5 jam	57	57	57	57	58	58	58	58	57	58
T1		1 jam	54	54	55	55	55	55	54	55	55	55
T1,5		1,5 jam	53	53	53	54	54	54	54	54	54	54
T2		2 jam	52	53	53	53	52	52	52	52	52	52
T2,5		2,5 jam	50	50	52	51	50	51	52	52	52	51

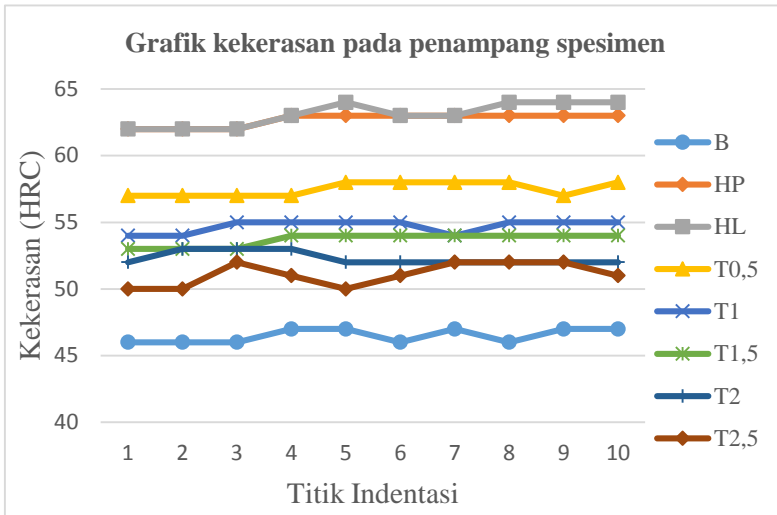
4. 2. 2 Analisa dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Dari data hasil pengujian dibuat grafik kekerasan permukaan dan penampang spesimen yang dapat dilihat pada gambar 4. 3 dan 4. 4.



Gambar 4. 3 Grafik kekerasan permukaan pada tiap titik indentasi

Dari gambar 4. 3 dapat diketahui bahwa nilai kekerasan permukaan pada setiap variabel proses mengalami fluktuasi, tetapi kisarannya tidak terlalu besar. Contoh fluktuasi kekerasan permukaan pisau dapur hasil *hardening* baik di pandai besi maupun laboratorium (HP & HL) dapat dijelaskan sebagai berikut, pada saat spesimen bertemperatur 850°C dicelup ke dalam oli yang memiliki temperatur kamar, maka oli disekitar permukaan spesimen bisa menjadi uap. Uap akan menghambat perpindahan panas spesimen ke media pendingin jika tidak segera lepas dari permukaan. Waktu terlepasnya uap antara satu titik permukaan dengan titik yang lain tidak sama, sehingga laju pendinginan berbeda dan mengakibatkan kekerasan tidak merata [13].



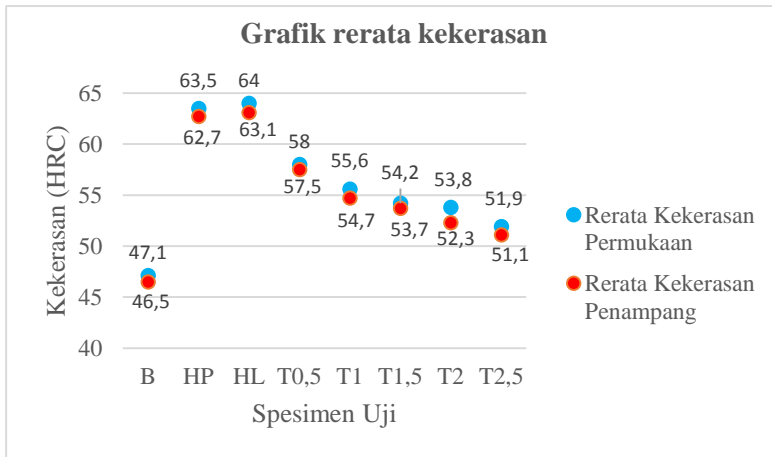
Gambar 4. 4 Grafik kekerasan penampang pada tiap titik indentasi

Hasil kekerasan penampang setiap variabel proses (gambar 4. 4) juga memiliki perbedaan, tetapi kisarannya lebih kecil jika dibandingkan dengan permukaan. Perbedaan kekerasan permukaan dan penampang tidak terlalu jauh menunjukkan bahwa ketebalan tidak berpengaruh dan hasilnya diasumsikan sama, sehingga bisa dirata-rata. Kisaran dan rerata kekerasan spesimen dapat dilihat pada tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Kisaran dan rerata kekerasan spesimen

Kode	Spesimen		Permukaan		Penampang	
			Kisaran Kekerasan (HRC)	Rerata Kekerasan (HRC)	Kisaran Kekerasan (HRC)	Rerata Kekerasan (HRC)
B	Baja bekas pegas-daun		46 – 49	47,1	46 – 47	46,5
HP	Pisau dapur perlakuan panas <i>hardening</i>	Pandai besi	63 – 65	63,5	62 – 63	62,7
HL		Labora-torium	63 – 65	64	62 – 64	63,1
		<i>Waktu temper-ing</i>				
T0.5	Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	0,5 jam	56 – 59	58	57 – 58	57,5
T1		1 jam	54 – 57	55,6	54 – 55	54,7
T1.5		1,5 jam	53 – 55	54,2	53 – 54	53,7
T2		2 jam	52 – 55	53,8	52 – 53	52,3
T2.5		2,5 jam	50 – 54	51,9	50 – 52	51,1

Untuk mempermudah melihat rerata kekerasan permukaan dan penampang spesimen, maka nilai tersebut dituangkan pada grafik (gambar 4. 5).



Gambar 4. 5 Grafik rerata kekerasan permukaan dan penampang spesimen

Sebelum *tempering*, pisau dapur dilakukan *hardening* di laboratorium. Rerata kekerasan *hardening* laboratorium tidak jauh berbeda dengan rerata kekerasan *hardening* pandai besi sehingga diasumsikan sama. Kisaran kekerasan permukaan antara 63 – 65 HRC, sedangkan kekerasan penampang berada pada kisaran 62 – 64 HRC. Dari gambar 4. 5 dapat dilihat bahwa rerata kekerasan permukaan hasil *hardening* sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan penampang karena laju pendinginan permukaan sedikit lebih cepat daripada penampang spesimen.

Setelah *hardening*, dilakukan *tempering* pada temperatur 260°C. Grafik kekerasan hasil *tempering* menunjukkan penurunan terhadap nilai kekerasan hasil *hardening* laboratorium. Rerata kekerasan permukaan dan penampang pisau dapur semakin turun seiring lamanya waktu *tempering*, hal tersebut sesuai dengan teori [13]. Waktu *tempering* terpendek (0,5 jam) menunjukkan penurunan rerata kekerasan terkecil pada permukaan dan penampang spesimen yaitu 58 HRC dan 57,5 HRC. Penurunan

rerata nilai kekerasan terbesar pada permukaan dan penampang spesimen yaitu 51,9 HRC dan 51,1 HRC. didapatkan dari waktu *tempering* terlama (2,5 jam). Jim Hrisoulas [8] menyatakan bahwa kisaran kekerasan pisau dapur yang ideal yaitu antara 55 HRC sampai 57 HRC, nilai kekerasan hasil pengujian yang masuk dalam kisaran tersebut didapatkan dari waktu *tempering* 0,5 jam dan 1 jam.

Untuk mengetahui apakah waktu *tempering* berpengaruh terhadap kekerasan permukaan dan penampang pisau dapur, maka dilakukan pengujian menggunakan metode statistik anova. Pengujian anova pada laporan penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan atau *Convident Level* (CL) sebesar 95%.

```

One-way ANOVA: Kekerasan permukaan

Source      DF          SS          MS          F          P
faktor      5      851.333      170.267      173.48      0.000
Error      54       53.000          0.981
Total      59     904.333

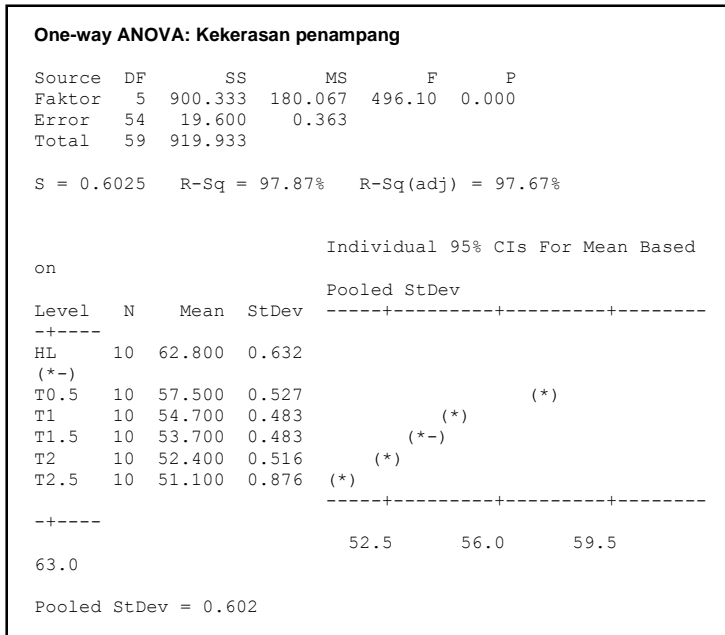
S = 0.9907    R-Sq = 94.14%    R-Sq(adj) = 93.60%

on

Individual 95% CIs For Mean Based
Pooled StDev
+-----+-----+-----+-----+
Level  N      Mean  StDev
+-----+-----+-----+-----+
HL      10     63.500   0.707
(*-)
T0.5    10     58.000   1.054
T1      10     55.600   1.075      (-*)
T1.5    10     54.200   1.033      (-*)
T2      10     53.800   0.789      (-*)
T2.5    10     51.900   1.197      (-*)
+-----+-----+-----+-----+
63.0                                52.5      56.0      59.5

Pooled StDev = 0.991

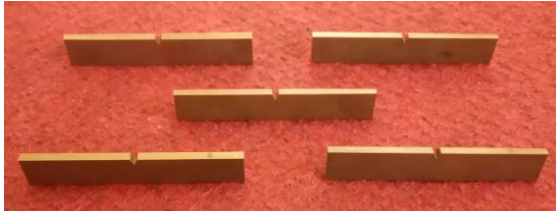
```



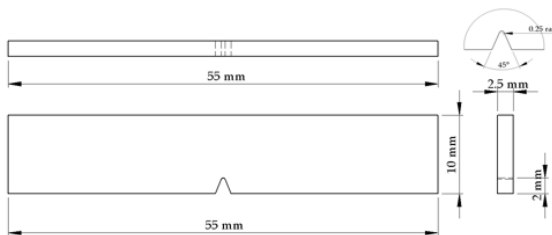
Dari hasil pengujian menggunakan metode *One-way* ANOVA didapatkan nilai tingkat signifikan (*P-value*) : 0%. Nilai tingkat signifikan (*P-value*) < 5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu *tempering* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan permukaan dan penampang spesimen.

4.3 Pengujian Impak

Beban yang digunakan pada pengujian impak metode *Charphy* sebesar 15 kg. Spesimen uji impak ditunjukkan pada gambar 4. 6 dan dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar 4. 7.



Gambar 4. 6 Spesimen uji impak



Gambar 4. 7 Dimensi spesimen uji impak

4. 3. 1 Data Hasil Pengujian Impak

Dari pengujian diperoleh energi untuk mematahkan spesimen yang digunakan untuk menghitung *impact strength*. Persamaan di bawah ini digunakan untuk menghitung *impact strength*:

$$IS = \frac{\text{Energi impak}}{A}$$

Dimana :

IS : *Impact Strength* (Kpm/mm²)

A : Luas Patahan Spesimen (mm²)

Untuk mendapatkan luas patahan pada spesimen digunakan persamaan:

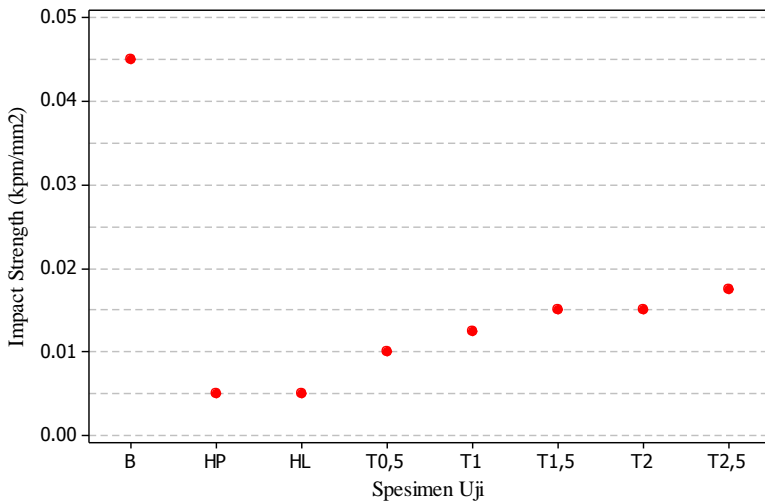
$$A = \text{Tebal patahan} \times \text{Lebar spesimen}$$

Data hasil pengujian impak ditampilkan pada tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Impak

Kode	Spesimen		Parameter			
			Energi, E (Kpm)	Tebal patahan, tp (mm)	Tebal sisa patahan, ts (mm)	Impact strength, Is (Kpm/mm ²)
B	Baja bekas pegas-daun		0,9	8	-	0,045
HP	Pisau dapur perlakuan panas <i>hardening</i>	Pandai besi	0,1	8	-	0,005
HL		Labora- torium	0,1	8	-	0,005
		Waktu <i>temper- ing</i>				
T0,5	Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	0,5 jam	0,2	8	-	0,01
T1		1 jam	0,25	8	-	0,0125
T1,5		1,5 jam	0,3	8	-	0,015
T2		2 jam	0,3	8	-	0,015
T2,5		2,5 jam	0,35	8	-	0,0175

Data *impact strength* dari tabel di atas dituangkan pada grafik untuk mempermudah membandingkan antar spesimen (gambar 4. 8).









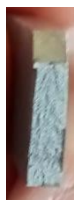

Gambar 4. 8 Grafik *impact strength*

4. 3. 2 Analisa dan Pembahasan Pengujian Impak

Gambar 4. 8 menunjukkan bahwa waktu *tempering* terlalu lama (2,5 jam) menghasilkan prosentase kenaikan *impact strength* terbesar yaitu 71,39% terhadap hasil *hardening* laboratorium, sedangkan prosentase kenaikan *impact strength* terkecil yaitu 50% dihasilkan dari waktu *tempering* terpendek (0,5 jam). Sedikit berbeda dengan referensi [2] yang memiliki nilai *impact strength* lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengujian dikarenakan temperatur *tempering*nya lebih tinggi yaitu 500°C, sedangkan penelitian *tempering* ini dilakukan pada temperatur 260°C, tetapi antara referensi dengan hasil pengujian memiliki kecenderungan yang sama yaitu *impact strength* semakin naik seiring lamanya waktu *tempering*. Terjadi kenaikan *impact strength* menunjukkan bahwa tegangan sisa pada pisau dapur hasil *hardening* sudah hilang [13]. Gambar pola patahan hasil pengujian impak dapat dilihat pada tabel 4. 6.

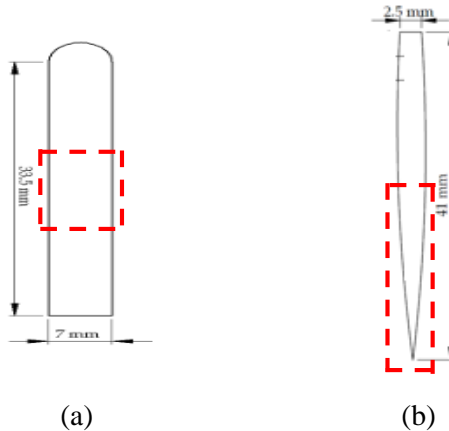
Tabel 4. 6 Pola patahan hasil pengujian impak

No.	Kode	Spesimen		Pola Patahan
1.	B	Baja bekas pegas-daun		
2.	P	Pisau dapur perlakuan panas <i>hardening</i>	Pandai besi	
3.	HL		Laboratorium	
			Waktu <i>tempering</i>	
4.	T0,5	Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	0,5 jam	

5.	T1	Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	1 jam	
6.	T1,5		1,5 jam	
7.	T2		2 jam	
8.	T2,5		2,5 jam	

4. 4 Pengamatan Struktur Mikro

Lokasi pengamatan struktur mikro pada penampang spesimen ditunjukkan pada gambar 4. 9. Hasil pengamatan struktur mikro dituangkan pada tabel 4. 7.



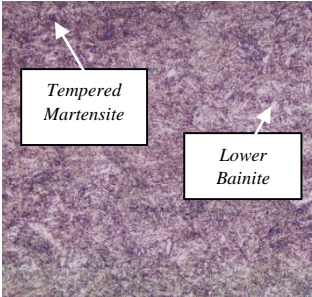
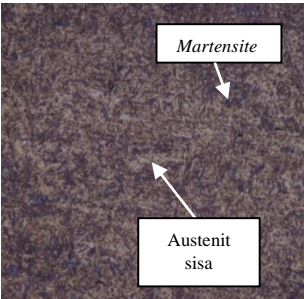
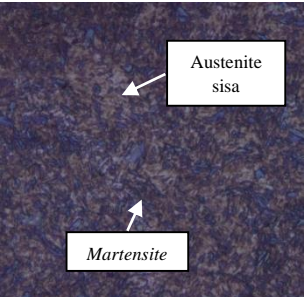
Gambar 4. 9 Lokasi pengamatan struktur mikro
(garis putus-putus merah)

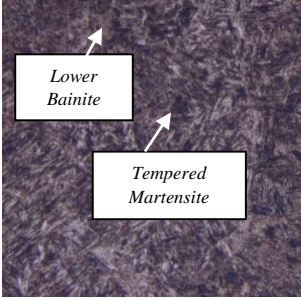
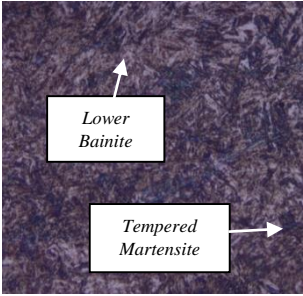
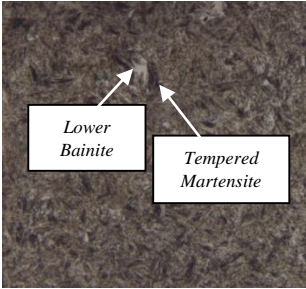
- a. baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur);
- b. pisau dapur yang telah melalui proses perlakuan panas

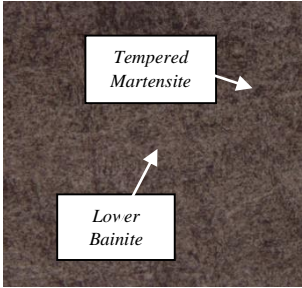
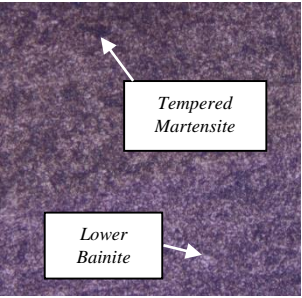
4. 4. 1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Didapatkan struktur mikro hasil pengamatan semua spesimen dan dituangkan pada tabel 4. 7.

Tabel 4. 7 Hasil pengamatan struktur mikro pada penampang spesimen

Spesimen		Struktur mikro perbesaran 1000x	Keterangan
Baja bekas pegas-daun		 <p>The micrograph shows a dark, granular matrix labeled 'Tempered Martensite' and lighter, more fibrous regions labeled 'Lower Bainite'.</p>	<i>Tempered martensite</i> (gelap) dan <i>lower bainite</i>
Pisau dapur perlakuan panas <i>hardening</i>	Pandai besi	 <p>The micrograph shows a dark matrix labeled 'Martensite' and lighter, more granular regions labeled 'Austenit sisa'.</p>	<i>Martensite</i> (gelap) dan austenit sisa (terang)
	Laboratorium	 <p>The micrograph shows a dark matrix labeled 'Martensite' and lighter, more granular regions labeled 'Austenite sisa'.</p>	<i>Martensite</i> (gelap) dan austenit sisa (terang)

	Waktu <i>tempe- ring</i>		
Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	0,5 jam	 <p>Micrograph showing a dark matrix of tempered martensite with lighter, needle-like structures of lower bainite. Arrows point from labels to these features.</p>	<i>Tempered martensite (gelap) dan lower bainite</i>
	1 jam	 <p>Micrograph showing a dark matrix of tempered martensite with lighter, needle-like structures of lower bainite. Arrows point from labels to these features.</p>	<i>Tempered martensite (gelap) dan lower bainite</i>
	1,5 jam	 <p>Micrograph showing a dark matrix of tempered martensite with lighter, needle-like structures of lower bainite. Arrows point from labels to these features.</p>	<i>Tempered martensite (gelap) dan lower bainite</i>

Pisau dapur perlakuan panas <i>tempering</i>	2 jam		<i>Tempered martensite</i> (gelap)
	2,5 jam		<i>Tempered martensite</i> (gelap)

4. 4. 2 Analisa dan Pembahasan Pengamatan Struktur Mikro

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada tabel 4. 7 diketahui bahwa baja bekas pegas-daun (bahan pisau dapur) memiliki struktur *tempered martensite* (gelap) dan *lower bainite* karena pembuatan pegas daun melalui proses *quench temper* pada temperatur *tempering* $>400^{\circ}\text{C}$. Temperatur tempering tersebut berada di atas temperatur *martensite start* JIS SUP 9A (240°C), sehingga terjadi perubahan austenit sisa menjadi *lower bainite*. Pisau dapur yang telah melalui proses *hardening* baik di pandai besi maupun laboratorium memiliki struktur *martensite* (gelap) dan austenit sisa (terang). Terbentuknya austenit sisa dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika spesimen pisau dapur berbahan baja bekas pegas-daun dipanaskan mencapai temperatur 850°C dilanjutkan pendinginan cepat (*quenching*) hingga temperatur kamar, maka

sebagian austenit berubah menjadi *martensite* dan sebagian lain menjadi austenit sisa karena transformasi 100% *martensite* tidak tercapai (*martensite finish* baja pegas JIS SUP 9A di bawah temperatur 0°C). Struktur mikro hasil tempering pisau dapur pada temperatur 260°C dengan waktu *tempering* 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam dan 2,5 jam adalah *tempered martensite* (gelap) dan *lower bainite*. Terbentuknya struktur mikro *tempered martensite* dan *lower bainite* dapat dijelaskan sebagai berikut, ketika pisau dapur dilakukan *tempering* pada temperatur 260°C (di atas temperatur *martensite start*), maka *martensite* berdekomposisi menjadi *tempered martensite* dan austenit sisa berubah menjadi *lower bainite*. Terbentuknya struktur mikro *lower bainite* dapat diketahui dari sifat mekanik pisau dapur yang mengalami perubahan dimana kekerasannya semakin turun, sedangkan ketangguhannya naik.

4.5 Pengaruh *Tempering* Terhadap Kekerasan, Ketangguhan dan Struktur Mikro

Dari penelitian ini didapatkan struktur mikro *tempered martensite* dan *lower bainite* pada pisau dapur hasil *tempering* (temperatur 260°C). Hal tersebut sesuai dengan teori [13], ketika dilakukan *tempering* pada temperatur antara 200°C sampai 400°C, maka terjadi dekomposisi *martensite* menjadi *tempered martensite* dan austenit sisa menjadi *lower bainite*, ditandai dengan terjadinya penurunan kekerasan dan kekuatan, tetapi ketangguhan dan keuletan mengalami kenaikan.

Dari waktu *tempering* terlama (2,5 jam) didapatkan penurunan kekerasan terbesar, sedangkan penurunan kekerasan terkecil didapatkan dari waktu *tempering* terpendek (0,5 jam). Hal tersebut berbanding terbalik dengan hasil uji impak, waktu *tempering* 0,5 jam menghasilkan kenaikan *impact strength* terkecil, sedangkan kenaikan *impact strength* terbesar dihasilkan dari waktu *tempering* 2,5 jam.

Berdasarkan seluruh data hasil pengujian, waktu *tempering* 0,5 jam dan 1 jam menghasilkan kekerasan pisau dapur sesuai yang diharapkan. Dari waktu tempering 0,5 jam didapatkan

kisaran kekerasan 56 HRC sampai 59 HRC dan nilai impact strength 0,00250 Kpm/ mm², sedangkan waktu tempering 1 jam menghasilkan kisaran kekerasan 54 HRC sampai 57 HRC dan nilai impact strength 0,00312 Kpm/ mm².

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian setelah proses pengambilan dan analisa data adalah :

1. Pengaruh waktu *tempering* terhadap kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro pisau dapur :
 - a. Nilai kekerasan pisau dapur semakin turun seiring lamanya waktu *tempering*. Waktu *tempering* terlama (2,5 jam) menghasilkan penurunan kekerasan terbesar, sedangkan penurunan kekerasan terkecil didapatkan dari waktu *tempering* terpendek (0,5 jam).
 - b. Nilai *impact strength* pisau dapur meningkat seiring lamanya waktu *tempering*. Kenaikan *impact strength* terbesar didapatkan dari waktu *tempering* terlama (2,5 jam), sedangkan waktu *tempering* terpendek (0,5 jam) menghasilkan Kenaikan *impact strength* terkecil.
 - c. Struktur mikro pisau dapur hasil *tempering* yaitu *tempered martensite* dan *lower bainite* dimana kekerasan dan kekuatan pisau dapur turun, sedangkan ketangguhan dan keuletannya naik.
2. Waktu *tempering* yang menghasilkan kekerasan pisau dapur ideal (55 HRC sampai 57 HRC) yaitu 0,5 jam dan 1 jam.

5.2 Saran

1. Penelitian *tempering* pisau dapur dapat dikembangkan dengan tipe baja yang lain.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat diperdalam untuk melihat ketajaman sisi potong dan ketahanan korosi.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA


- [1] Aaron Deutchment. 1985. *Machine Design Theory*. London : Collier Macmillan International Edition.
- [2] Adiel Elsafandi Ardianto. 2011. *Pengaruh Waktu Penahanan pada Proses Quenching Partitioning dan Quenching Tempering Terhadap Sifat Mekanik Baja Pegas JIS SUP 9A*. Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] ASM Handbook. 1991. *Atlas of Time-Temperature Diagram for Irons and Steels*. USA : ASM International.
- [4] _____. 1991. *Heat Treating*. USA : ASM International.
- [5] _____. 1995. *Heat Treater's Guide Practices and Procedures for Irons and Steels*. USA : ASM International.
- [6] _____. 2005. *Properties and Selection : Irons, Steels and High Performance Alloys*. USA : ASM International.
- [7] Januard Buyung Bandaso. 2016. *Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kerasan dan Mikrostruktur Pisau dari Material Baja Bekas*. Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Jim Hrisoulas. 1991. *The Master Bladesmith*. USA : Paladin Enterprises, Inc.

- [9] JIS Handbook. 2006. *Ferrous Materials and Metallurgy II*. Tokyo : Japanese Standard Association.
- [10] J. L. Smith, dkk. 2009. *Heat Treatment of Metals Vol. 1*. Singapore : Alkem Company.
- [11] K.E Thelning. 1984. *Steel and Its Heat Treatment*. London : Butterworths.
- [12] Min Shan HTUN, dkk. 2009. *Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel*. Myanmar : *Metallurgical Engineering and Materials Science Department, Mandalay Technological University*.
- [13] Sidney H. Avner. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. New York : Mc. Graw Hill.
- [14] Wahid Suherman. 1987. *Diktat Pengetahuan Bahan*. Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [15] William D. Callister, Jr. 2007. *Material Science and Engineering*. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- [16] Yoshiro Yamada. 2007. *Materials for Spring*. New York : Springer.
- [17] Matt Davidson. 2015. *Best Pocket Knife Today*,
<URL:<http://bestpocketknifetoday.com/>>

LAMPIRAN

Lampiran 1

Lembar hasil pengujian komposisi kimia


barata indonesia PT. 2108020

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No :	02	Customer :	PEDHA, WADA
Furnace :		Name of Equipment :	Pegas dan Bekas
Heat No :		Order No :	
Lab. No :	35042016/00	Material :	Low Alloy Steel

Spectrometizer Foundry-MASTER				Grade :					
Fe	S	Mn	P	C	Si	Cu	Mo	Ni	Al
1 97,3	0,576	0,212	0,019	0,0140	0,0119	0,054	0,0033	0,0040	
2 97,4	0,581	0,209	0,012	0,0144	0,0118	0,042	0,0057	0,0112	
Ave 97,4	0,579	0,211	0,011	0,0144	0,0119	0,048	0,0066	0,0144	

Al	Ti	Nb	As	Ta	V	B	Pb	Sn
1 0,0018	0,0029	0,0065	0,0040	0,0015	0,0029	0,0076	0,0044	0,0033
2 0,0027	0,0026	0,0038	0,0037	0,0020	0,0029	0,0130	0,0039	0,0033
Ave 0,0022	0,0027	0,0041	0,0038	0,0019	0,0029	0,0108	0,0041	0,0032

B	Co	Cr	Zn	Ag	W	Bi
1 0,0033	0,0023	0,0042	0,0060	0,0015	0,0119	0,0090
2 0,0033	0,0023	0,0015	0,0060	0,0013	0,0120	0,0056
Ave 0,0033	0,0023	0,0037	0,0060	0,0014	0,0119	0,0048

Time	Date	Tester	QC. Manager
Gresik - Jawa Timur	3504/2016		

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
 Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990866
 Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

Lampiran 2

Tabel konversi nilai kekerasan [8]

Hardness					Tensile strength					Hardness					Tensile strength					Hardness				
HV	HRB	HB	HRC		kp/mm ²	N/mm ²				HV	HRC	HB			kp/mm ²	N/mm ²				HV	HRC	HR 30N		
100	57.0	95		33	325					400	40.8	380.0	130	1275						700	60.1	77.6		
110	62.0	105		36	355					410	41.8	389.5	134	1315						710	60.5	78.0		
120	67.0	114		39	380					420	42.7	399.0	137	1345						720	61.0	78.4		
130	71.0	124		43	420					430	43.6	408.5	141	1385						730	61.4	78.7		
140	75.1	133		46	450					440	44.5	418.0	144	1410						740	61.8	79.1		
150	78.8	143		49	480					450	45.3	423	147	1440						750	62.1	79.4		
160	82.1	152		52	510					460	46.1	432	150	1470						760	62.5	79.7		
170	85.0	162		55	540					470	46.9	442	153	1500						770	62.9	80.0		
180	87.3	171		58	570					480	47.7	450	156	1530						780	63.3	80.4		
190	89.6	181		62	600					490	48.4	456	160	1570						790	63.6	80.7		
200	91.8	190		65	635					500	49.1	466	164	1610						800	64.0	81.1		
210	93.7	200		68	670					510	49.8	475	168	1640						810	64.3	81.4		
220	95.5	209		71	695					520	50.5	483	172	1680						820	64.7	81.7		
230	97.0	219		74	725					530	51.1	492	176	1725						830	65.0	81.9		
240	HRC	228		77	755					540	51.7	500	180	1765						840	65.3	82.2		
250	22.2	238		80	785					550	52.3	509	184	1805						850	65.6	82.5		
260	24.0	247		84	825					560	53.0	517	188	1845						860	65.9	82.7		
270	25.6	257		87	855					570	53.6	526	193	1890						870	66.1	82.9		
280	27.1	266		90	880					580	54.1	535	198	1940						880	66.4	83.1		
290	28.5	276		94	920					590	54.7	543	203	1990						890	66.7	83.3		
300	29.8	285		97	950					600	55.2	552								900	67.0	83.6		
310	31.0	295		101	990					610	55.7	560								910	67.2	83.8		
320	32.2	304		104	1020					620	56.3	569								920	67.5	84.0		
330	33.3	314		107	1050					630	56.8	577								930	67.8	84.2		
340	34.4	323		110	1080					640	57.3	586								940	68.0	84.4		
350	35.5	333		114	1115					650	57.8									950	68.4	84.6		
360	36.6	342		117	1150					660	58.3									960	68.7	84.8		
370	37.7	352		120	1175					670	58.8									970	69.0	85.0		
380	38.8	361		123	1205					680	59.2									980	69.3	85.2		
390	39.8	370		127	1245					690	59.7									1000	69.9	85.6		

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 09 Oktober 1993, merupakan anak tunggal dari pasangan suami istri M. Hanif dan Tutik Rahayu. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu tahun 1998-1999 bersekolah di TK Nusa Indah, tahun 1999-2005 melanjutkan di SD Muhammadiyah Lamongan, Kemudian tahun 2005-2008 melanjutkan ke SMPN 1 Lamongan, tahun 2008-2011 melanjutkan ke SMAN 2 Lamongan dan tahun 2011 melanjutkan pendidikannya di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya dengan mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS. Setelah lulus D3 Teknik Mesin pada tahun 2014, penulis melanjutkan di S-1 Teknik Mesin FTI-ITS. Pada akhir semester, penulis menyelesaikan tugas akhir yang berhubungan dengan bidang studi metalurgi. Untuk informasi mengenai tugas akhir ini pembaca dapat menghubungi penulis via email ridhawildania@gmail.com.